



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Möglichkeiten und Methoden zur räumlichen
Visualisierung von WLAN-Netzwerken mittels GIS-
gestützter Analyseverfahren“

Verfasser

Christopher Kogelnig

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 455

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Kartographie und Geoinformation

Betreuerin / Betreuer:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Kainz

Danksagung

Danke an meine lieben Eltern! Ohne ihre Unterstützung wären das Lernen, Studieren und schlussendlich auch das Schreiben dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Vielen Dank auch an meine liebe Eva, die mich während all der Jahre begleitet und immer wieder motiviert hat. Danke für das Korrekturlesen!

Inhalt

Inhalt.....	i
Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	vii
Kurzfassung	viii
Vorwort	ix
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	5
2 Geoinformation und geographische Informationssysteme.....	6
2.1 Geoinformation und Geoinformatik.....	6
2.2 Geographische Informationssysteme	7
2.2.1 Definition und Grundlagen	7
2.2.2 Entwicklung	10
2.3 Geodaten und Datenqualität	11
3 Methodische Grundlagen und Interpolation.....	16
3.1 Einführung und Überblick.....	16
3.1.1 Begriffe und Definitionen	16
3.1.2 Anwendungen und Klassifikation.....	17
3.2 Allgemeine Interpolationsansätze	19
3.2.1 Polygon-Methode	20
3.2.2 Triangulation.....	20
3.2.3 IDW - Inverse Distanzwichtung.....	21
3.3 Kriging	22
3.3.1 Grundlagen des Krigings.....	22
3.3.2 Varianten und Möglichkeiten	23

4	WLAN-Netzwerke und elektromagnetische Strahlung.....	25
4.1	Ressourcen und WLAN-Netzwerke	25
4.1.1	Infrastruktur des Telekommunikationsanbieters	25
4.1.2	WLAN-Netzwerke	27
4.1.3	Strahlungsleistung und Signalstärke.....	31
4.2	Elektromagnetische Strahlung.....	35
4.2.1	Definition und Einführung.....	35
4.2.2	Ausbreitung von Funkwellen	38
4.2.3	Modellparameter	43
5	Räumliche Interpolation	46
5.1	Arbeitsgrundlagen und Untersuchungsgebiete.....	46
5.1.1	Software und Geobasisdaten	46
5.1.2	Datenerfassung und Geodatenvisualisierung	53
5.1.3	Untersuchungsgebiete	57
5.1.4	Dämpfungsmodellierung mittels GIS	58
5.2	Visualisierung der Signalstärke und Dämpfung.....	61
5.2.1	Interpolation in ArcGIS	61
5.2.2	FN Puchsbaumplatz	63
5.2.3	FN Paltramplatz.....	70
5.2.4	FN Wolfganggasse	77
5.2.5	FN Eschenallee.....	83
5.2.6	WLAN-Plangebiet.....	88
6	Zusammenfassung	91
6.1	Ergebnisse	91
6.2	Ausblick und Perspektive	93
7	Literatur und Quellen	94
	Lebenslauf	97

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Visualisierung der Signalstärke in Gebäuden nach [GÜM-07].....	3
Abb. 2: WLAN-Netzwerkfügbarkeit nach [BEL-09].....	4
Abb. 3: GIS-Komponenten (eigene Grafik nach [LAN-06, S.320])	8
Abb. 4: Schlüsselfunktionen ESRI ArcGIS Desktop (eigene Grafik nach [ESR-12]).....	9
Abb. 5: Vektordaten vs. Rasterdaten nach [UNIA-08]	13
Abb. 6: Vorhersage von Attributwerten mittels Interpolation (eigene Grafik)	17
Abb. 7: Lokal vs. Global (eigene Grafik).....	19
Abb. 8: Polygonmethoden (eigene Grafik nach [INTd-12])	20
Abb. 9: Triangulierung (eigene Grafik nach [INTd-12])	21
Abb. 10: Inverse Distanzwichtung nach [INTd-12]	21
Abb. 11: Glasfasernetz Wien UPC Austria (eigene Grafik)	26
Abb. 12: Arten von Computer-Netzwerken (eigene Grafik).....	27
Abb. 13: Basic und Extended Service Set (eigene Grafik)	28
Abb. 14: Vereinfachte Darstellung einer WLAN-Funkzelle (eigene Grafik)	29
Abb. 15: WLAN im 2,4 GHz-Band und Kanäle nach [RTR-12]	31
Abb. 16: RSSI-Messung mittels inSSDer-Software nach [SSD-12].....	34
Abb. 17: Schwingungen des elektrischen und magnetischen Feldes (eigene Grafik) nach [HAF-12, S.23])	36
Abb. 18: Effekte bei der Ausbreitung von em-Wellen nach [MET-07, S.163].....	39
Abb. 19: Ray Launching und Ray Tracing nach [UNIC-10]	41
Abb. 20: Modellparameter (eigene Grafik).....	44
Abb. 21: Produktfamilie ArcGIS nach [ESR-12].....	47
Abb. 22: ArcGIS Desktop Lizenzstufen nach [ESR-12].....	48
Abb. 23: Screenshot ArcMap Version 9.3.1	49
Abb. 24: Screenshot ArcCatalog Version 9.3.1	50
Abb. 25: Schlüsselfunktionen Spatial Analyst (eigene Grafik nach [ESR-12]).....	51

Abb. 26: Geobasisdaten (eigene Grafik)	52
Abb. 27: Datenerfassungselemente RSSI-Messung (eigene Grafik)	54
Abb. 28: Datenaufbereitung RSSI-Messung (eigene Grafik)	55
Abb. 29: Layerstruktur ArcGIS (eigene Grafik nach [ARC-04]).....	56
Abb. 30: Untersuchungsgebiete (eigene Grafik).....	57
Abb. 31: Beispiel Ermittlung des FSPL nach Distanzen mittels ArcGIS (eigene Grafik).....	58
Abb. 32: Sichtbarkeitsanalyse am Beispiel FN Puchsbaumplatz (eigene Grafik)	59
Abb. 33: Beispiel Digitalisierung und Generalisierung der Vegetation für Parameter III (eigene Grafik).....	60
Abb. 34: Dämpfungsmodellierung mittels GIS (eigene Grafik)	61
Abb. 35: Erfassungspunkte RSSI FN Puchsbaumplatz.....	63
Abb. 36: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Puchsbaumplatz	66
Abb. 37: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Puchsbaumplatz	67
Abb. 38: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Puchsbaumplatz	68
Abb. 39: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Puchsbaumplatz	69
Abb. 40: Erfassungspunkte RSSI FN Paltramplatz	70
Abb. 41: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Paltramplatz.....	73
Abb. 42: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Paltramplatz	74
Abb. 43: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Paltramplatz	75
Abb. 44: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Paltramplatz.....	76
Abb. 45: Erfassungspunkte RSSI FN Wolfganggasse	77
Abb. 46: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Wolfganggasse	79
Abb. 47: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Wolfganggasse.....	80
Abb. 48: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Wolfganggasse.....	81
Abb. 49: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Wolfganggasse	82
Abb. 50: Erfassungspunkte RSSI FN Eschenallee	83
Abb. 51: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Eschenallee.....	85
Abb. 52: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Eschenallee	86

Abb. 53: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Eschenallee	87
Abb. 54: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Eschenallee.....	88
Abb. 55: Berechnungspunkte FN Campus Universität Wien.....	89
Abb. 56: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Campus Universität Wien	90
Abb. 57: Signalmodellierung mittels GIS	92

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Entwicklungsphasen GIS nach [BAR-05, S.10]	10
Tab. 2: Eigenschaften von Geodaten nach [KUD-07, S.496 ff.].....	12
Tab. 3: dBm-Niveau und Vorkommen nach [WIKb-12]	33
Tab. 4: Ausschnitt em-Spektrum im Radio- und Mikrowellenbereich nach [INTg-12]	35
Tab. 5: Geeignete Ausbreitungsmodelle für verschiedene Distanzen nach [UNIC-10]	41
Tab. 6: Berechnung des Pfadverlustes im Freiraum nach Distanzen	42
Tab. 7: Interpolationsparameter IDW	62
Tab. 8: Interpolationsparameter Kriging	62
Tab. 9: Messpunkteigenschaften FN Puchsbaumplatz	65
Tab. 10: Messpunkteigenschaften FN Paltramplatz	72
Tab. 11: Messpunkteigenschaften FN Wolfganggasse	79
Tab. 12: Messpunkteigenschaften FN Eschenallee	84

Abkürzungsverzeichnis

AP	Access Point
dB	Dezibel
dBm	Dezibel Milliwatt
em-Welle	Elektromagnetische Welle
em-Strahlung	Elektromagnetische Strahlung
EZG	Einzugsgebiet
f	Frequenz
FN	Fibernode
FSPL	Free Space Path Loss
GIS	Geographisches Informationssystem
GHz	Gigahertz
HP	Hot Spot
Hz	Hertz
LOS	Line of Sight
λ	Wellenlänge Lambda
MHz	Megahertz
SNR	Signal to Noise Ratio
mW	Milliwatt
UG	Untersuchungsgebiet
RSSI	Received Signal Strength Indicator

Kurzfassung

Kabellose Kommunikationsformen sind in der heutigen Zeit ein unverzichtbares Instrument in vielen Bereichen der Gesellschaft. Ob in der Telekommunikation oder in privaten Einrichtungen und Institutionen ist es für solch einen Betrieb notwendig, ausreichende Kenntnisse hinsichtlich der räumlichen Erreichbarkeit und Abdeckung einzuholen. Dabei können die Geoinformation und geographische Informationssysteme (GIS) eine bedeutsame Rolle für die Erörterung dieser Fragestellungen einnehmen.

Um in diesem Bereich allerdings geeignete Aussagen treffen zu können, ist es zudem erforderlich, die technischen und physikalischen Rahmenbedingungen von WLAN- bzw. Funknetzwerken in die Analysen dementsprechend zu integrieren. So wird in dieser Arbeit vor allem der Frage nachgegangen, wie sich WLAN-Netzwerke in ihrer räumlichen Ausbreitung verhalten und wie diese mittels GIS erfasst, analysiert und visualisiert werden können. Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei vor allem WLAN-Netzwerke außerhalb von Gebäuden. Zur Visualisierung werden zudem unterschiedliche Interpolationsmethoden eingesetzt und ferner auch einem Vergleich hinsichtlich ihres bevorzugten Einsatzes unterzogen.

Als Basis für die Analysen werden ausgewählte Gebiete mit bereits vorhandenen WLAN-Netzwerken herangezogen. Neben der Visualisierung der Signalstärke innerhalb dieser Gebiete erfolgt darüber hinaus eine kritische Auseinandersetzung mit dem grundsätzlichen Verhalten von Funkwellen und deren Ausbreitungseigenschaften. Dabei werden die erörterten Parameter wiederum via GIS verarbeitet und dementsprechend analysiert und visualisiert.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde unter anderem aufgezeigt, dass das Verhalten der ausgesendeten Signale auf Grund der Komplexität vieler Einflussfaktoren zwar nicht exakt ermittelt werden kann, es allerdings möglich ist, die Ausbreitung und ihre Eigenschaften in den Grundzügen mittels GIS zu erfassen und darzustellen. Die Ergebnisse bilden zudem eine sehr gute Basis, um weiterführende Analysen und Berechnungen durchführen zu können.

Vorwort

Der sechste Planet war zehnmal so groß. Er war von einem alten Herrn bewohnt, der ungeheure Bücher schrieb. "Da schau! Ein Forscher!" rief er, als er den kleinen Prinzen sah. Der kleine Prinz setzte sich an den Tisch und verschnaufte ein wenig. Er war schon so viel gereist! „Woher kommst Du?“, fragte ihn der alte Herr. "Was ist das für ein dickes Buch?" sagte der kleine Prinz. "Was machen Sie da?" "Ich bin Geograph", sagte der alte Herr. "Was ist das, ein Geograph?" "Das ist ein Gelehrter, der weiß, wo sich die Meere, die Ströme, die Städte, die Berge und die Wüsten befinden." "Das ist sehr interessant“, sagte der kleine Prinz. "Endlich ein richtiger Beruf!“ [SAI-10, S.51]

Dieser Auszug aus dem Buch „Der kleine Prinz“ von Antoine de Saint-Exupéry spiegelt in ganz vereinfachter und schemenhafter Weise meinen persönlichen Bezug zur Geographie vor dem Studium wieder - interessiert und neugierig, aber mit der Frage, was denn die Geographie eigentlich wirklich ist. Ist es das bloße Wissen von Fakten? Diese Frage wurde mir im Laufe des Studiums immer mehr und mehr beantwortet und ich bekam das Gefühl, dass ich mich für den richtigen Weg entschieden hatte. Die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur faszinierten mich von Beginn an in all den verschiedenen Facetten und Bereichen dieses Faches. Speziell die Kartographie und Geoinformatik zogen mich früh in ihren Bann und unterstützt durch die spannenden und faszinierenden technologischen Möglichkeiten sah ich mich schnell in diesem Gebiet angesiedelt. Als (Computer-) begeisterter Jugendlicher und später Erwachsener ist es nicht verwunderlich, dass es nun in meiner Diplomarbeit zur Verschmelzung von Kartographie, Geographie bzw. Naturwissenschaft und Fragmenten der Informatik kommt.

1 Einleitung

1.1 Einführung und Zielsetzung

Durch die rasante Zunahme an kabellosen Kommunikationsmöglichkeiten in der heutigen Gesellschaft ist es notwendig, gezielt Informationen hinsichtlich Reichweite, Verfügbarkeit und Abdeckung der ausgesendeten Signale einzuholen. Speziell das Internet hat sich im Laufe der Zeit zum wichtigsten Medium weltweit entwickelt und ist weder aus dem Alltag noch aus der Berufswelt wegzudenken. Kabellose Internetzugänge, so genannte Access-Points (kurz AP, dt. Zugangspunkte), sind mittlerweile in fast jedem privaten Haushalt zu finden. Der allgemeine Trend geht aber in den öffentlichen Raum über.

Waren WLAN (Wireless Local Area Network, dt. drahtloses lokales Netzwerk) - Netzwerke vor geraumer Zeit noch einer speziellen Klientel (z.B. Studenten) an einem gebundenen Ort (z.B. Universität) vorbehalten, gibt es inzwischen zahlreiche öffentliche Netze in vielen Städten der Welt. Innerhalb von Hot-Spots (kurz HP, dt. Quellpunkte) besteht ein meist freier Zugang in die digitale Welt. Die heutigen technologischen Kapazitäten ermöglichen es auch, diese Zugänge außerhalb von Gebäuden bzw. Innenräumen einzurichten. Dabei stellen sich allerdings folgende grundlegenden Fragen:

- Welche Möglichkeiten und Methoden bieten sich an, um die Signalstärke innerhalb eines WLAN-Netzwerkes zu visualisieren? Wo gibt es guten, schlechten oder gar keinen Empfang?
- Lassen sich die Ausbreitung und das Verhalten der ausgesendeten Signale mittels GIS modellieren bzw. rekonstruieren?
- Welche Verfahren eignen sich besonders für die Visualisierung der Signalstärke und des Signalverhaltens innerhalb von WLAN-Netzwerken?

So ist es auch das Ziel dieser Arbeit, die eben aufgeführten räumlichen Fragestellungen mittels GIS zu lösen. Dabei kommen unterschiedliche Interpolationsmethoden zum Einsatz, welche anschließend auch einem Vergleich unterzogen werden. Darüber hinaus bedeutet dies aber, dass zur Bearbeitung nicht nur ausgewählte Software und die

erhobenen und berechneten Daten für die Visualisierung der Ergebnisse erforderlich sind, sondern auch Kenntnisse der ausgesendeten Signale, der Funkwellen bzw. elektromagnetischen Wellen (kurz em-Wellen) und ihrer Eigenschaften und Ausbreitungen im Raum. Zudem müssen sowohl die technischen Grundlagen und Ressourcen vom jeweiligen Service-Provider (dt. Telekommunikationsdiensteanbieter) sowie von WLAN-Netzwerken aufgezeigt und berücksichtigt werden. Diese theoretische Basis wird im ersten Teil der Diplomarbeit gelegt.

Als räumliche Grundlagen für die Analysen in dieser Arbeit werden ausgewählte Gebiete der Stadt Wien herangezogen. Innerhalb dieser Gebiete sollen die Fibernodes (kurz FN, vgl. Kapitel 4.1.1) der Telekommunikationsfirma UPC Austria¹ als AP dienen. An vier dieser FN ist ein Modem bzw. WLAN-Router installiert und wird mittels Funknetzwerk betrieben. Innerhalb diesem erfolgt an bestimmten Positionen eine Erfassung der Signalstärke, welche zudem mittels GPS-Empfänger räumlich referenziert wird. Die Grundlage eines WLAN-Netzwerkes bildet immer ein Funknetz. Um zusätzlich Informationen und Erkenntnisse hinsichtlich der Ausbreitung und des Verhaltens von Funkwellen zu erlangen, müssen grundlegende physikalische Eigenschaften und Besonderheiten dieser in die Analysen integriert werden. Das daraus entstandene Modell, welches zusätzlich in den vier Untersuchungsgebieten (kurz UG) zum Einsatz kommt, kann als Basis für die Berechnung von Ausbreitungseigenschaften dienen. Die grundlegenden Parameter für dieses Modell werden einerseits aus den Erfahrungen der durchgeführten Messungen und andererseits aus den physikalischen Eigenschaften der em-Wellen bei ihrer Ausbreitung gewonnen und anschließend in das GIS integriert.

Wie [GÜM-07] bereits in ihren Untersuchungen erläutert haben, gilt die Frage nach der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen als nicht so einfach zu definieren bzw. zu analysieren. Eine exakte Bestimmung bzw. Vorhersage, wie sich die ausgesendeten Funkwellen im Raum verhalten und darstellen, ist nur sehr schwer möglich. Im Versuch, ausgesendete Signale zu visualisieren, wurde in dieser Studie als Basis ein 3D-Gebäudemodell herangezogen. Innerhalb eines Korridors wurden Messungen durchgeführt und dementsprechend aufbereitet und dargestellt (Abb.1).

¹ <http://www.upc.at/>

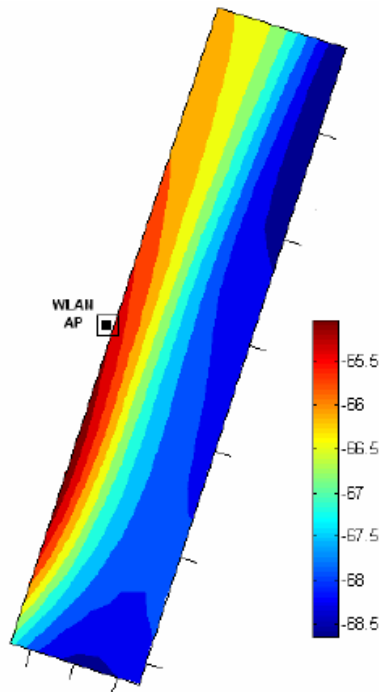


Abb. 1: Visualisierung der Signalstärke (in dB) in Gebäuden nach [GÜM-07]

Nach den Messungen der Signalstärke wurde zur Visualisierung unter anderem auf die Methode der KNN (Künstliche neuronale Netze) zur Schätzung des jeweils gut oder schlecht erhaltenen Signals zurückgegriffen. Die Funktionsweise der künstlichen neuronalen Netze ist dem biologischen Nervensystem nachempfunden. In dieser Methode ist der Einsatz von komplexen Algorithmen nicht notwendig, sondern es wird nur versucht, Zusammenhänge zu erkennen. Von bereits bekannten Werten, Erfahrungen oder Erkenntnissen lassen sich so Rückschlüsse auf neue Zusammenhänge ziehen. [INTa-11]

In ihren Ausführungen wird unter anderem auch die Thematik des Elektroschmogs angesprochen und mittels eigener Messungen näher untersucht und analysiert. Diese Materie ist allerdings nicht Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit. Des Weiteren kann die Problematik der Ausbreitung bzw. Verteilung von elektromagnetischer Strahlung (kurz em-Strahlung) in der vorliegenden Arbeit nicht im Detail behandelt werden, sondern wird auf allgemeine Ursachen für das entworfene Modell beschränkt.

[BEL-09] führten in ihren Untersuchungen zu dem Thema „*Mapping Wlan Coverage As A Potential Complementary Source For GPS-Based Navigation In Indoor-Environments*“ sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden Messungen und Analysen der

Signalstärken durch. Um eine Vorhersage der Signalstärken innerhalb der WLAN-Netzwerke zu erhalten, wurde IDW (vgl. Kapitel 3.5.1) (engl. Inverse Distance Weight, dt. Inverse Distanzwichtung) als Methode verwendet (Abb.2). IDW wird auch in dieser Arbeit als Interpolationsmethode eingesetzt. Kriging dient daneben als zweites Verfahren zur Visualisierung der Signalstärke und des Signalverhaltens in dieser Diplomarbeit.

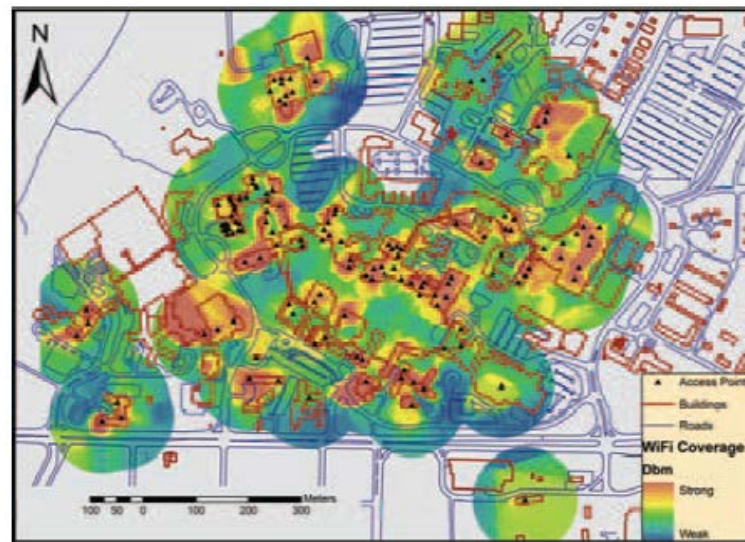


Abb. 2: WLAN-Netzverfügbarkeit nach [BEL-09]

Neben verschiedenen Untersuchungen und Projekten hinsichtlich der Visualisierung von WLAN-Netzabdeckungen mittels Signalmessungen und GIS gibt es in der Physik bzw. Optik zahlreiche Methoden, deren Hauptaugenmerk rein auf dem Verhalten von Funkwellen bei ihrer Ausbreitung liegt, so genannte Wellenausbreitungsmodelle (vgl. Kapitel 4.2). Hier ist das Ziel, auch ohne räumliche Analysemethoden eine Vorhersage des Verhaltens von Funkwellen durchzuführen zu können. [INTb-11]

Große Bedeutung wird Kenntnissen über die Netzabdeckung natürlich auch im Telekommunikationsbereich zugeschrieben. Einsichten in die Reichweite und Empfangsqualität sind hier von beträchtlichem Wert.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Diplomarbeit gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Nach einer kurzen Einführung in das Gebiet der geographischen Informationssysteme und deren Grundlagen in Kapitel 2 wird in Kapitel 3 bereits auf die Methodik zur Visualisierung näher eingegangen. Es werden die Rahmenbedingungen und Grundlagen verschiedener Interpolationsverfahren erläutert und unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten aufgeführt.
- Kapitel 4 widmet sich den technischen Grundlagen von WLAN-Netzwerken und den Ressourcen des Telekommunikationsanbieters. Zudem werden die elementaren Eigenschaften von em-Strahlung diskutiert und die Parameter für das eigene Modell vorbereitet.
- Kapitel 5 beinhaltet den praktischen Teil der Diplomarbeit. Nach der Präsentation der jeweiligen Gebiete mit vorhandenen WLAN-Netzwerken und der verwendeten Software werden anschließend die Erfassungsmethoden der erhobenen Daten aufgezeigt und die Modellierungsprozesse näher betrachtet. Darauf folgt die Darstellung aller Ergebnisse und Berechnungen in Form von Karten, Abbildungen und Tabellen.
- In Kapitel 6 werden als Abschluss eine Zusammenfassung der Ergebnisse und wichtigsten Erkenntnisse angeführt und zudem mögliche Perspektiven und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt und diskutiert.

2 Geoinformation und geographische Informationssysteme

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Geoinformation und der Geographischen Informationssysteme erläutert. Neben den technischen Rahmenbedingungen und Definitionen werden zudem die notwendigen Normen hinsichtlich Geodaten und Datenqualität aufgeführt. Die Techniken und Methoden der Modellierungen sowie die Strukturen und Verwaltung von Geodaten in einem GIS werden in Kapitel 5 an Hand von eigenen Daten und der verwendeten Software explizit beschrieben.

2.1 Geoinformation und Geoinformatik

Der Ausdruck Geoinformation beinhaltet schon die räumliche Komponente - Geo (aus dem Griechischen = Erde) und die jeweils entsprechende Information (aus dem Lateinischen *informare* = Gestalt geben, bilden). Spezifischer betrachtet lässt sich der Begriff Geoinformation auf raum-, zeit-, ort-, und lagebezogene Sachverhalte zurückführen. Das Präfix *Geo* ist allerdings nur im deutschen Sprachraum üblich. Im Englischen werden Begriffe wie *Spatial Data*, *Spatial Information* oder *Geomatics* verwendet. [BAR-05, S.15]

Das Ziel der Geoinformatik ist es, sich mit den Theorien der Datenmodellierung, Speicherung, Analyse, Verwaltung und Verarbeitung von Geodaten (vgl. Kapitel 2.3) auseinanderzusetzen. Genauer betrachtet beschäftigt sich die Geoinformatik mit der Lösung geowissenschaftlicher Problemstellungen mit Hilfe von Anwendungen aus dem Bereich der Informatik und deren Methoden. Zentrale Teilbereiche der Geoinformatik sind unter anderem die Informatik, Datenbanksysteme, digitale Kartographie, Fernerkundung, GIS, Geodaten (GPS, Geodatenerfassung) sowie Visualisierungen und die digitale Bildverarbeitung. [HAK-02, S.33] [LAN-06, S.04]

2.2 Geographische Informationssysteme

2.2.1 Definition und Grundlagen

Für den Begriff eines Geoinformationssystems gibt es zahlreiche Definitionen. Einige lauten wie folgt:

„Ein Geo-Informationssystem (GIS) ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software und Daten besteht und mit dem sich raumbezogene Problemstellungen in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten modellieren und bearbeiten lassen. Die dafür benötigten raumbezogenen Daten können digital erfasst und redigiert, verwaltet und reorganisiert, analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden. GIS bezeichnet sowohl eine Technologie, Produkte als auch Vorhaben zur Bereitstellung und Behandlung von Geoinformation.“ [BILL-94, S.05]

„Unter GIS versteht man die Verarbeitung und Verwaltung raumbezogener Daten (Geodaten) mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung. Als raumbezogen können dabei solche Informationen bezeichnet werden, die sich eindeutig mit Hilfe von Koordinaten in einem Untersuchungsgebiet verorten lassen.“ [LIN-99, S.03]

Ein GIS arbeitet mit (Geo-)Objekten, ihren Attributen und ihrer Beziehung zueinander. Ein Geographisches Informationssystem bildet immer nur einen Teil der Realität ab und arbeitet nicht mit den realen Objekten selbst, sondern mit einem Abbild, einem Modell der Realität. Genauer betrachtet ist es die Abstraktion eines Teiles der Wirklichkeit. Das Ergebnis so einer Abstraktion sind Geodaten (z.B. eine Linie als Abstraktion einer Straße). Das Herzstück eines GIS ist somit das Datenmodell, welches eine digitale, beschreibende Darstellung der realen Welt enthält. Nach [BAR-05, S.16] kann ein GIS natürlich auch als *„[...]ein System zur Unterstützung der Entscheidungsfindung, das raumbezogene Daten in einer Problemlösungsumgebung integriert“* angesehen werden. So sind Geoinformationssysteme in allen Bereichen, in denen raumbezogenen Daten vorhanden sind, unerlässlich. Grundsätzlich sind für die Arbeit mit einem GIS drei Bestandteile erforderlich (Daten, Software, Hardware), wobei den Daten besondere Bedeutung

zugesprochen werden muss. Die vierte Komponente ist der Nutzer. Zudem lassen sich die Grundkomponenten eines GIS in zwei Ebenen aufteilen:

- a. Technologische Ebene:
 - Hardware, Software, Daten
- b. Prozessuale Ebene:
 - Funktionen im GIS, Anwender

Die in Abb.3 dargestellten Komponenten verweisen nun auf die vier wesentlichen Teilstücke eines GIS: Software, Hardware, Daten und einen Anwender bzw. dessen Kenntnisse, Erfahrungen und Analysefähigkeiten.

4-Komponentenmodell eines GIS (Abb. 3):

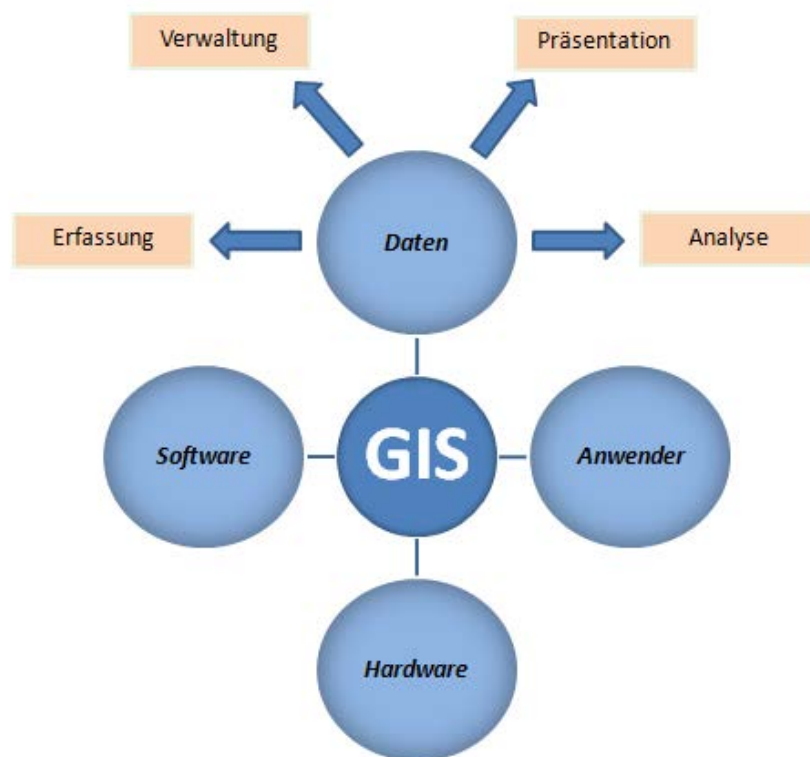


Abb. 3: GIS-Komponenten (eigene Grafik nach [LAN-06, S.320])

Die Ausprägungen eines Geographischen Informationssystems können vielschichtig sein. Laut [BIL-99, S.36 ff.] sind vor allem Landschaftsinformationssysteme (LIS) eines der wichtigsten Entscheidungsinstrumente in Recht, Verwaltung und Wirtschaft und eine Hilfe und Unterstützung für die Planung und Entwicklung einer Region. Kommunale Informationssysteme (KIS) kennzeichnen sich durch die Eingliederung von unterschiedlichen Ämtern und ermöglichen einen schnellen Zugriff auf Liegenschaften und Grundstücke, insbesondere auf Basis von Luftbildern und Geobasisdaten. Bei Netzinformationssystemen (NIS) stehen speziell die Erfassung und Analyse von Betriebsdaten bzw. Betriebsnetzen, welche sich auf Netzwerktopologien beziehen, im Vordergrund. Im Umfeld der GIS-Software gibt es mittlerweile eine Vielzahl an Programmen und Applikationen, welche von proprietärer Software bis hin zu Open-Source (dt. quelloffene Software) Plattformen reicht. In dieser Diplomarbeit wird das Produkt ArcGIS Desktop (ArcGIS Version 9.3.1 und 10) der Firma ESRI (Environmental System Research Institute)² als Softwarekomponente verwendet. Diese Software beinhaltet vielseitige Werkzeuge und Methoden, mit welcher (raumbezogene) Daten erzeugt, verwaltet, editiert, analysiert und präsentiert werden können. Im Bereich der Geoinformationsverarbeitung nimmt ESRI derzeit eine klare Marktführerposition ein.

Schlüsselfunktionen ArcGIS Desktop Produkt (Auswahl):



Abb. 4: Schlüsselfunktionen ESRI ArcGIS Desktop (eigene Grafik nach [ESR-12])

² <http://www.esri.com/>

In Kapitel 5.1.1 werden die Software ArcGIS Desktop und die wesentlichen Elemente und Erweiterungen, welche für die Analysen und Visualisierungen notwendig sind, gesondert behandelt.

2.2.2 Entwicklung

Die Anwendungen und Methoden der Geoinformationssysteme sind noch relativ jung. Nach [BAR-05, S.10] lässt sich die Entwicklung von GIS in fünf Phasen einteilen:

Entwicklungsphasen GIS
Phase I (1955- 1975) <i>Zeit der Pioniere</i> individuelle Wege; kaum digitale Daten; Hardware nicht wirklich vorhanden
Phase II (1970 - 1985) <i>Zeit der Behörden</i> Verwaltung von Geodaten beim US Geological Survey, British Ordnance Survey; Hardware in beschränktem Ausmaß
Phase III (1979 - 1990) <i>Zeit der Firmen</i> Hardware und Software entwickeln sich weiter; Arc/Info (ESRI), Intergraph wurden geschaffen; Workstations für Anforderungen wurden bereitgestellt
Phase IV (1988 - 1998) <i>Zeit der Nutzer</i> Interfaces; Datenstrukturen; GIS wird benutzerfreundlich; Entwicklung von Fachschalen
Phase V (ab ca. 1990) <i>Zeit des offenen Marktes</i> Angebot und Nachfrage steigen; hohe Nachfragen an GIS-Software und Geodaten

Tab. 1: Entwicklungsphasen GIS nach [BAR-05, S.10]

Die Leistungsfähigkeit heutiger GIS nimmt, vor allem auf Grund der rasanten Fortschritte im Bereich der Hardware, immer mehr zu. GIS sind in den Bereichen, in denen raumbezogene Informationen verwendet bzw. benötigt werden, nicht mehr wegzudenken.

2.3 Geodaten und Datenqualität

Wenn von Geodaten gesprochen wird, ist es notwendig, zuerst auf den Begriff Geoobjekt zu verweisen:

„Geoobjekte sind räumliche Elemente, die zusätzlich zu Sachinformationen geometrische und topologische Eigenschaften besitzen und zeitlichen Veränderungen unterliegen können. Kennzeichnend für Geoobjekte sind die Geometrie, Topologie, Thematik und Dynamik.“ [LAN-06, S.159]

Die Bezeichnung Geoobjekt wurde bewusst gewählt, „...um den Bezug zur Objektorientierung der Informatik deutlich werden zu lassen. So lassen sich Objektgruppen bilden, die Verallgemeinerungen oder Typen von Objekten darstellen mit dazugehörigen Attributen und Methoden.“ [LAN-06, S.160] Damit ist eine Zusammenfassung von (Geo-)Objekten gemeint, welche eine vereinfachte Verwaltung von komplexen Gebilden erlaubt.

Ein Geoobjekt bezieht sich eindeutig auf ein bestimmtes Merkmal der Erdoberfläche. Diese Merkmale können auch nach ihrer (räumlichen) Dimension klassifiziert werden:

- Punkt (z.B. Messstelle) 0 – dimensionales Objekt
- Linie (z.B. Strasse) 1 – dimensionales Objekt
- Fläche (z.B. Einzugsgebiet) 2 – dimensionales Objekt
- Körper (z.B. Gebäude) 3 – dimensionales Objekt

Zudem spielen die räumliche Auflösung (Skalierungen) und die räumliche Varianz eine wesentliche Rolle bei der Analyse und Modellierung von Geoobjekten. Diese sind also mittels Geodaten eindeutig referenzierbar. In Tab.2 werden die spezifischen Eigenschaften von Geodaten noch einmal zusammengefasst.

Geometrie	Topologie	Thematik	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> • Lage und Ausdehnung von Objekten im Raum • Vektordaten (Punkte und Linien) • Rasterdaten (Rasterzellen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung der relativen räumlichen Beziehungen • Konstant bei Veränderung der Geoobjekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Entsprechen Sachattributen • Ein Geoobjekt kann mehrere Attribute besitzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitpunkt oder Zeitraum • Erfassung der Dynamik von Geoobjekten bei mehreren Zeitpunkten

Tab. 2: Eigenschaften von Geodaten nach [KUD-07, S.496 ff.]

All die aufgelisteten Elemente in Tab.2 bilden zusammen die Geodaten eines Geoobjekts. Dabei muss sowohl zwischen Primär- und Sekundärdaten unterschieden werden. Die Primärdaten beruhen auf den ersten Messungen und Erhebungen. Die Sekundärdaten werden quasi aus den Primärdaten abgeleitet und für weitere Analysen und Untersuchungen bearbeitet. [LAN-06, S.197]

Grundsätzlich werden Geodaten in zwei Datenstrukturmodelle eingeteilt. Bei den Vektordaten ist der Träger der Koordinateninformation und der Beziehungen der Punkt. Beim Vektormordell erfolgt eine Abstraktion der räumlichen Objekte in Form von Punkten, Linien und Polygonen. Die Geometrien und Attribute werden in ArcGIS in relationalen Datenbanken gespeichert. Rasterdaten bestehen hingegen aus einer bestimmten Menge an Rasterpunkten (Rasterzelle bzw. Pixel), welche in der Regel quadratisch geformt und einheitlich abgebildet sind. Die Repräsentation von räumlichen Elementen im Rastermodell erfolgt in diesem Fall durch eine Matrix von Zellen, welche die Werte für ein Attribut enthalten. [UNia-08]

Eigenschaften von Vektordaten:

- hohe Erfassungszeit
- wenig Speicherplatz
- kurze Rechenzeit
- komplexe Datenstruktur

Eigenschaften von Rasterdaten:

- niedrige Erfassungszeit
- große Datenmenge
- lange Rechenzeit
- einfache Datenstruktur

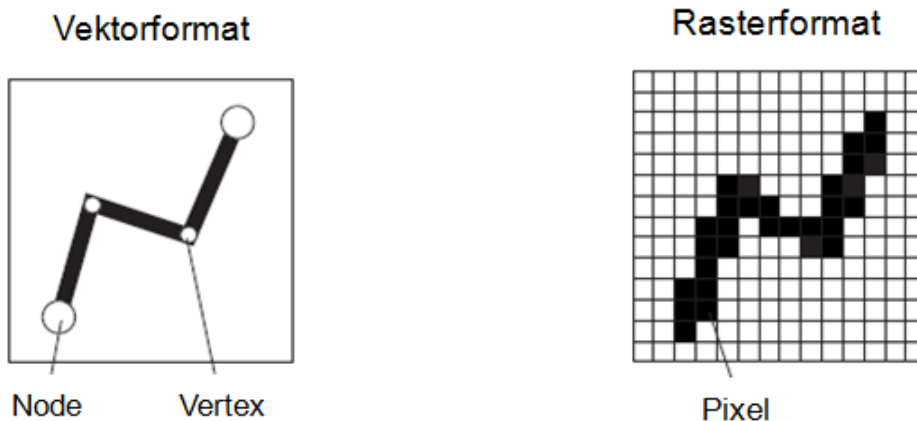


Abb. 5: Vektordaten vs. Rasterdaten nach [UNia-08]

Zu diesen räumlichen Informationen gesellen sich zusätzlich die jeweiligen Attributdaten. Die Attributdaten beschreiben in der Regel einen bestimmten Sachverhalt (Messwerte, Adressen, Nummern, etc...). Attributdaten können auch in unterschiedlichen Datentypen erstellt und konfiguriert werden (numerische Daten, alphanumerische Daten, etc...). Diese Daten werden in Tabellen und Datenbanken abgespeichert und können mit den geometrischen Informationen verknüpft werden, um im GIS entsprechende Analysen und Bearbeitungen durchzuführen.

Ein zusätzlicher wichtiger Bestandteil von Geodaten sind Metadaten. Metadaten sind Daten über Daten. Sie erfüllen eine beschreibende Funktion. Angesichts des Bedarfs an einer größtmöglichen Interoperabilität liegen für die Standardisierung von Metadaten derzeit zwei ISO-Richtlinien (ISO 19115 und Erweiterung ISO 19119) vor, welche ein

gemeinsames Verständnis für Metainformationen definieren sollen. Metadaten enthalten Angaben über mehrere Punkte:

- Aufnahme- und Erfassungshistorie
- Informationen bezüglich dem verwendeten Koordinatensystem
- Räumliche und zeitliche Gültigkeit
- Herkunft
- Nutzbarkeit
- Dateiformat
- Sonstige relevante Informationen bezüglich der Daten

Sinn und Zweck der Metadaten ist es auch, die Datensuche in unterschiedlichen Quellen zu vereinfachen. Metadaten erleichtern die Weiterverarbeitung enorm. Sie stellen eine Art Gebrauchsanweisung dar, wie die Daten genutzt werden können, und vereinfachen zudem die Nutzung der Daten für die Anwender untereinander. [SEE-07, S.36]

In Kapitel 2.2.1 wurde festgehalten, dass ein GIS auch ein System zur Entscheidungsfindung darstellt. Entscheidungen und Ergebnisse aus einem GIS können aber immer nur so gut sein, wie die Geodaten selbst. Das bedeutet, dass für die Grundlage einer wertvollen Arbeit mit einem GIS eine angemessene Datenqualität der Geodaten vorliegen sollte. Dabei muss beachtet werden, dass sich der Begriff Qualität immer auf den Verwendungszweck bezieht. Ob die Daten für die jeweilige Analyse oder Bearbeitung geeignet sind, ist also vorrangig vom Einsatzzweck abhängig. Spezifischer betrachtet lässt sich die Qualität von Geodaten nach [SCHa-05, S.10 f.] auch genauer klassifizieren:

➤ *Aktualität*

- definiert die zeitliche Gültigkeit der vorhandenen Daten:
 - Erfassungsdatum
 - Stand der Daten
 - Gültigkeitsdauer

➤ *Genauigkeit*

- kann sich sowohl auf den Raum als auch auf das Thema beziehen

➤ *Richtigkeit*

- Daten sollen räumlich, zeitlich und thematisch korrekt sein

➤ *Vollständigkeit*

- räumliche Vollständigkeit
- zeitliche Vollständigkeit
- thematische Vollständigkeit

➤ *Konsistenz*

- beschreibt die logische Gültigkeit der vorhandenen Daten:
 - räumliche Konsistenz
 - zeitliche Konsistenz
 - thematische Konsistenz

Da Geodaten immer nur einen Teil der Realität abbilden, können sie auch nur in einem begrenzten Ausmaß gültig sein. Zudem gibt es einige Faktoren, welche die Qualität der Geodaten beeinflussen können:

- Generalisierung
- Verdrängung
- Klassifizierung
- Maßstab
- Digitalisierungsfehler

3 Methodische Grundlagen und Interpolation

Die wichtigste Grundlage für die Visualisierung eines vorhandenen WLAN-Netzwerkes in dieser Arbeit ist die Messung der Signalstärke. Die Daten werden punktuell erfasst und sind meist ungleichmäßig über eine Fläche bzw. das UG verteilt. Allerdings stehen dabei nicht primär die gemessenen Punktdaten im Mittelpunkt des Interesses, sondern die Beschaffenheit und Struktur des Signalverhaltens innerhalb des gesamten EZG. Die räumliche Interpolation stellt nun ein Verfahren dar, wie ausgehend von den erfassten bzw. gemessenen Daten weitere Informationen für das komplette Einzugsgebiet abgeleitet werden können. Im folgenden Kapitel werden nun die Bestandteile und Voraussetzungen der angewandten Interpolationsverfahren näher betrachtet.

3.1 Einführung

„Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things“ – first law of geography (Tobler 1970 in [ABL-92, S.155])

Das erste Gesetz der Geographie nach Tobler besagt, dass Werte innerhalb eines bestimmten Gebietes enger in Beziehung zueinander stehen als jene, die räumlich weiter voneinander getrennt sind. Kurz gesagt nimmt die Ähnlichkeit der Werte mit wachsender Entfernung ab. Was sich näher ist, ist sich tendenziell ähnlicher.

3.1.1 Begriffe und Definitionen

Interpolation

Das grundsätzliche Ziel der Interpolation ist es, die Ermittlung eines unbekannten Wertes an einer bestimmten Position vorherzusagen bzw. zu schätzen. Die Berechnung erfolgt meist durch Werte in der unmittelbaren Umgebung. Das bedeutet, dass sich an Hand der sogenannten Stützpunktwerte bzw. den verteilten, bekannten Beobachtungen (Punkte) im UG die unbekannten Werte ermitteln und anschließend als kontinuierliche Oberfläche (Raster) darstellen lassen. Durch die Interpolation ist es also möglich, einen Attributwert an einer Position, für den keine Messungen vorliegen, vorherzusagen (Abb.6). [INTc-12]

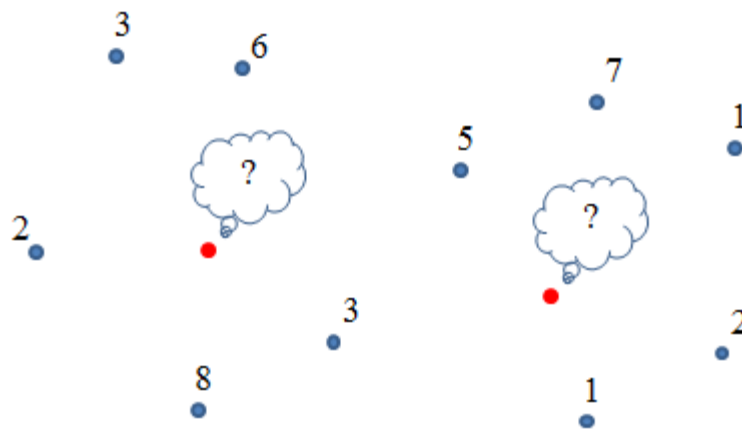


Abb. 6: Vorhersage von Attributwerten mittels Interpolation (eigene Grafik)

Extrapolation

Laut [BILL-01, S.87] fungiert die Extrapolation bzw. Hochrechnung als Berechnung von Werten außerhalb eines abgedeckten Bereiches mit Information. Die Ermittlung erfolgt also fern liegend der Mess- bzw. der Stützpunktwerte. Die Extrapolation ist demnach nur eine Schätzung und der genaue räumliche Zusammenhang ist nicht bekannt. Die Extrapolation sollte auf Grund des reinen Schätzverfahrens nur bedingt angewendet werden und führt in der Regel zu hohen Abweichungen.

Approximation

Die Approximation (Glättung) dient der Annäherung an bestehende Daten mit möglichst geringer Abweichung. Abweichungen sind hier allerdings zugelassen. Typische Verfahren für diesen Vorgang sind z.B. Kriging und Least Squares Verfahren (dt. Methode der kleinsten Quadrate). [BILL-01, S.12]

3.1.2 Anwendungsbereiche und Klassifikationen

Das Ziel der räumlichen Interpolation ist es also, aus den bekannten Messwerten die tatsächliche Werteoberfläche so gut wie möglich zu rekonstruieren bzw. zu schätzen. Die Anwendungsbereiche sind vielfältig und werden in unterschiedlichen Gebieten eingesetzt. Die Methode der räumlichen Interpolation besitzt eine große Bedeutung in vielen Bereichen der Geowissenschaft:

-
- Digitale Geländemodelle (DGM)
 - Flächendeckende Karten zur Bodenbelastung (Schadstoffe)
 - Klima- und Wettermodellierungen
 - Niederschlags- und Abfluss-Modelle
 - Temperaturverteilungen

Die Klassifikation von Interpolationsverfahren kann auf mehrere Arten erfolgen, wobei alle Methoden grundsätzlich in statistische (geostatistische) und nicht-statistische (deterministische) Verfahren unterschieden werden können:

Statistische vs. Nicht-statistische Verfahren

Sowohl statistische als auch nicht-statistische Interpolationsmethoden beruhen allgemein auf dem bereits eingangs erwähnten ersten Gesetz der Geographie nach Tobler. Was sich näher ist, ist sich tendenziell ähnlicher. Allerdings unterscheiden sich diese beiden Methoden vor allem in der Form ihrer Modellierung. Bei statistischen bzw. geostatistischen Interpolationsverfahren erfolgen die Visualisierung und Modellierung des räumlichen Zusammenhanges über ein geostatistisches Modell (z.B. Kriging und das Variogramm). Das Ergebnis einer Interpolation mittels statistischer Verfahren liefert nicht nur eine kontinuierliche Oberfläche auf Basis der gemessenen Werte, sondern kann auch ein gewisses Maß an Genauigkeit vorhersagen bzw. schätzen. Damit ist es zusätzlich möglich, die Unsicherheit einer Schätzung zu veranschaulichen. Die deterministischen Methoden basieren hingegen auf einer reinen Schätzung des räumlichen Zusammenhanges. Mittels dieser Verfahren ist in der Regel keine Aussage zur Qualität möglich.

Lokal vs. Global

Mit Ausnahme einiger Methoden (Polygon-Methode, Triangulierung) kann das eigentliche Interpolationsverfahren sowohl in eine globale als auch eine lokale Methode unterschieden werden. Eine globale Methode schließt alle Messpunkte im Untersuchungsgebiet mit ein. Das bedeutet, dass der zu interpolierende Punkt mit allen gemessenen Punkten in Beziehung gesetzt wird. Bei der lokalen Methode werden hingegen nur benachbarte Punkte zur Schätzung herangezogen (Abb.7).

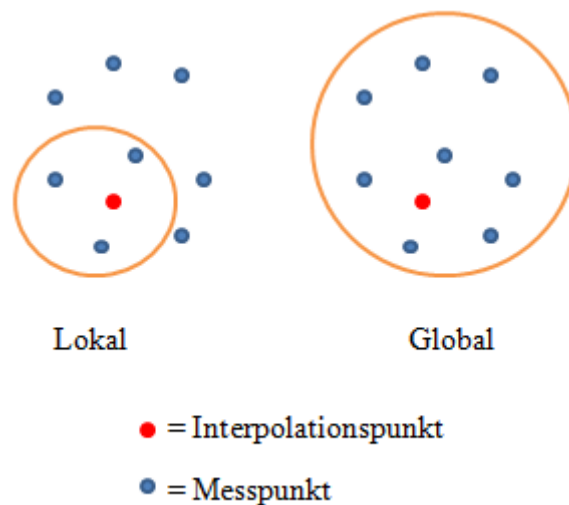


Abb. 7: Lokal vs. Global (eigene Grafik)

Exakt vs. Approximiert

Bei exakten Verfahren verläuft die Interpolationsfunktion genau durch die Datenpunkte, während bei approximierten Methoden die Schätzungen von den realen Werten abweichen können. Die approximierten Verfahren sollten demnach vor allem dann gewählt werden, wenn die erhobenen Daten bereits eine gewisse Unschärfe in ihrer Erhebung aufweisen.

3.2 Allgemeine Interpolationsansätze

Im folgenden Kapitel werden allgemeine Methoden zur räumlichen Interpolation von Punktdaten kurz erläutert und die jeweiligen Eigenschaften und Visualisierungen dieser Verfahren dargestellt. IDW und Kriging bilden gemeinsam die ausgewählten Prozeduren für die räumliche Visualisierung der Signalstärke und des Modells in dieser Diplomarbeit. Mit Ausnahme weniger Interpolationsmethoden (z.B. Spline) bedienen sich die aufgeführten Verfahren des linearen, gewichteten Messwertes für den gesuchten Ort. Die Modellierung reicht von geometrischen und topologischen Ansätzen bis hin zu komplexeren, statistischen Methoden. [GRE-98, S.47]

3.2.1 Polygon-Methode

Die Methode der (Thiessen-)Polygone geht im Gegensatz zu den herkömmlichen Interpolationsverfahren von einem anderen Ansatz aus. Hier werden aus den bekannten Werten keine neuen Schätzwerte erstellt, sondern das Untersuchungsgebiet wird vielmehr in Polygone eingeteilt. Dabei entstehen genauso viele Polygone, wie Messungen für das entsprechende Gebiet vorhanden sind. Diese Polygone bestehen somit aus den Punkten, die den Messpunkten am nächsten liegen. Alle Punkte in einem dieser Polygone weisen dann den gleichen Wert auf. Es wird allerdings angenommen, dass es keinen Zusammenhang der Werte der unterschiedlichen Polygone gibt. Der große Nachteil dieser Methode ist zudem die scharfe Grenze zwischen den Polygonen, die so in der Realität selten vorkommen. Dennoch wird dieses Verfahren hauptsächlich für Landschaftsklassifikationen eingesetzt. Die Größe der Polygone hängt zudem von der Dichte der Messpunkte ab (Abb.8). [LAN-06, S.360]

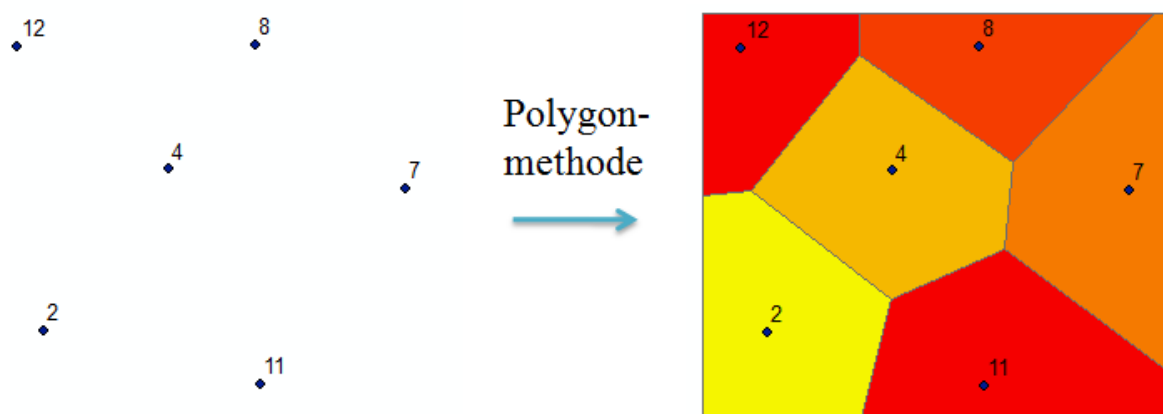


Abb. 8: Polygonmethode (eigene Grafik nach [INTd-12])

3.2.2 Triangulation

Bei der Triangulation wird im Gegensatz zur Polygon-Methode eine stetige Werteoberfläche der Messpunkte erstellt. Um die Oberfläche dementsprechend schätzen zu können, wird durch je drei benachbarte Werte eine Ebene gelegt. Der Zusammenhang nimmt innerhalb des Dreieckes mit der Distanz ab. Auch hier wird angenommen, dass es keinen Zusammenhang der Werte zwischen den Dreiecken gibt. Diese Methode nähert sich den realen Werten aber schon etwas genauer an (Abb.9).

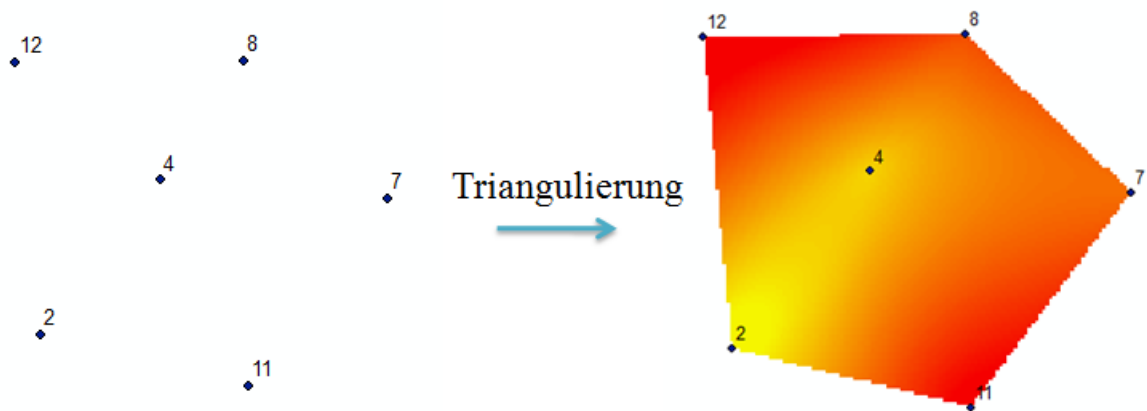


Abb. 9: Triangulierung (eigene Grafik nach [INTd-12])

3.2.3 IDW – Inverse Distanzwichtung

Die IDW-Methode bedient sich der Annahme, dass jeder Messpunkt einen gewissen lokalen Einfluss besitzt. Genauer gesagt basiert IDW auf der Methode der räumlichen Korrelation. Dieser Einfluss bzw. diese Gewichtung nimmt allerdings mit der Entfernung ab. IDW benützt als Parameter für die Berechnung der zu interpolierenden Punkte nur den Abstand zwischen den einzelnen Messpunkten und dem zu berechnenden Punkt. Das bedeutet, je größer die Entfernung, desto kleiner ist der Einfluss des gemessenen Punktes. Die Gewichtung erfolgt umgekehrt proportional zur Distanz (Abb.10).

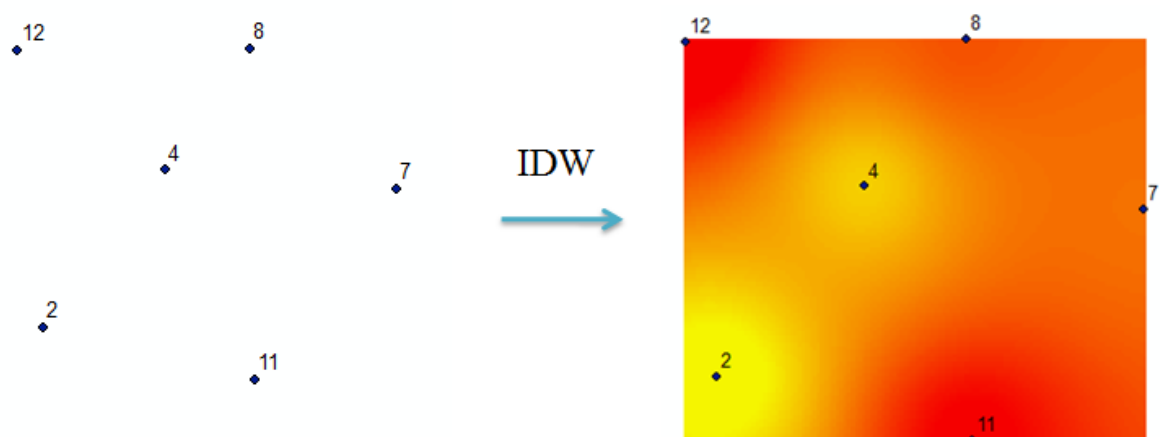


Abb. 10: Inverse Distanzwichtung (eigene Grafik nach [INTd-12])

Die Interpolation und das Ergebnis können allerdings durch die Manipulation bestimmter Parameter dementsprechend verändert werden:

Potenzwert

Der Potenzwert beeinflusst die Gewichtung des Abstandes. Je höher dieser Wert ist, desto stärker wird die Annahme umgesetzt, dass das, was weiter weg liegt, weniger Einfluss besitzt und umgekehrt. Wird dieser Wert erhöht, ergibt sich eine höhere Gewichtung der Messpunkte in unmittelbarer Umgebung. Verkleinert man die Potenz, so werden alle weiter entfernten Messpunkte in ihrem Einfluss eingeschränkt.

Radius

Es besteht zudem die Möglichkeit, die Interpolation durch Messpunkte innerhalb eines bestimmten Bereiches durchzuführen. Werden alle zur Verfügung stehenden Messpunkte zur Interpolation herangezogen, kann eine größere Glättung erreicht werden. Mittels der Interpolation von Messwerten in einem eingeschränkten Bereich können weiter entfernt liegende Punkte, welche eventuell keinen Einfluss mehr auf den lokalen Wert besitzen, ausgeschlossen werden. Damit fließen diese nicht mehr in die Berechnung mit ein.

Die Inverse Distanzwichtung bedient sich allerdings nur des Abstandes der Messpunkte. Weitere Informationen, welche statistisch nutzbar wären, werden nicht berücksichtigt. Um (geo)statistische Aussagen treffen und Schätzfehler ableiten zu können, ist der Einsatz nachfolgender Methode notwendig.

3.3 Kriging

3.3.1 Grundlagen des Krigings

Kriging ist ein Verfahren, welches nach dem südafrikanischen Bergbauingenieur Daniel Krige benannt wurde. Beim Kriging erfolgt die Approximation des unbekannten Punktes durch die Messpunkte in der unmittelbaren Umgebung. Auch hier wird Datenpunkten, welche näher an einer gesuchten Position liegen, größere Bedeutung zugeschrieben als jenen, die weiter entfernt liegen. Wie beim IDW findet eine Gewichtung der Messwerte statt. Allerdings erfolgt die Berechnung nicht nur rein durch die Distanz, sondern es wird aus den verfügbaren Daten ein so genanntes Semivariogramm erstellt, welches den Zusammenhang der Messpunkte für einen bestimmten Abstand aufzeigt. Kriging ist somit

ein statistisches Interpolationsverfahren. Bei der IDW-Methode, welche die räumlichen Zusammenhänge lediglich schätzt, wird nur angenommen, dass die Daten einen räumlichen Zusammenhang besitzen, untersucht wird dieser aber nicht. Mittels Kriging lassen sich hingegen Aussagen über diese Zusammenhänge und die Qualität der Schätzung vorhersagen.

Beim Kriging wird also die Struktur der Daten genauer untersucht. Dabei wird die Modellierung der räumlichen Korrelation durch das Semivariogramm dargestellt. Um einen unbekannten Wert an einer Position vorherzusagen, verwendet Kriging das erstellte Variogramm der Daten bzw. Werte, welche sich im Umkreis des zu schätzenden Punktes befinden.

Die Möglichkeiten und Varianten innerhalb des Krigings sind vielfältig. Auch sind für genauere Untersuchungen und Analysen dieses Interpolationsverfahrens statistische und mathematische Kenntnisse und Erfahrungen unerlässlich. Da dies aber nicht den Kern der Arbeit darstellt, wird darauf auch nicht im Detail eingegangen. [SIE-10, S.198] [INTe-12]

3.3.2 Varianten und Möglichkeiten

Einfaches Kriging

Beim einfachen Kriging wird für alle unbekannten Messwerte ein bestimmter Erwartungswert angenommen. Dieser Erwartungswert ergibt sich aus dem Mittelwert aller bekannten Messwerte. Durch das einfache Kriging ist es also möglich, vorherzusagen wie weit der reale Wert vom Erwartungswert abweicht. Der Ergebniswert des gesuchten Punktes ergibt sich dann aus dem Erwartungswert, den Werten der bekannten Punkte in der Umgebung und den jeweiligen Gewichtungen. [SCHb-09, S.12 ff]

Normales Kriging

Diese Variante ist eine Art Erweiterung des einfachen Krigings. Allerdings ist hier der Erwartungswert nicht bekannt. Dies verursacht eine Abweichung bei der Ermittlung der Gewichtung. Der Erwartungswert selbst muss erst nach und nach berechnet werden. Der gesuchte Punkt wird durch ein gewichtetes Mittel der existierenden Stützpunkte geschätzt.

Universelles Kriging

Der Erwartungswert darf im UG nicht konstant sein. Hier muss ein gewisser Trend im Datensatz vorhanden sein. Dabei muss allerdings zwischen einem lokalen Drift und einem globalen Trend unterschieden werden. Allerdings ist eine konsequente Isolierung der beiden Besonderheiten oft nur schwer möglich.

4 WLAN-Netzwerke und elektromagnetische Strahlung

Kapitel 4 ist in zwei größere Punkte eingeteilt. Im ersten Teil werden zunächst die technischen Grundlagen von WLAN-Netzwerken erläutert und die Ressourcen des Telekommunikationsanbieters für die UG aufgezeigt. Für das bessere Verständnis werden dabei neben einer generalisierten Darstellung der Infrastruktur des Telekommunikationsanbieters auch die netzwerktechnischen Rahmenbedingungen für die Diplomarbeit geschaffen. Nachfolgend werden die Eigenschaften von em-Strahlung und die Ausbreitung von Funkwellen näher betrachtet und die Parameter für das eigene Modell definiert.

4.1 Ressourcen und WLAN-Netzwerke

4.1.1 Infrastruktur des Telekommunikationsanbieters

Die Basis oder besser gesagt den (räumlichen) Ausgangspunkt für die Visualisierung eines WLAN-Netzwerkes bildet (wie bereits bekannt) ein FN des Telekommunikationsanbieters UPC Austria. Der Begriff FN bezieht sich in diesem Zusammenhang auf den Ausdruck Fiber To The Node oder auch Fiber To The Curb (dt. Faser an den Randstein), welcher eine bestimmte Glasfaseranschlusstechnik bezeichnet. Glasfasern werden als Lichtwellenleiter (kurz LWL) in Glasfasernetzen zur Datenübertragung herangezogen. Vorteile der Glasfasertechnik sind eine höhere Bandbreite, sowie eine Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen. Durch die erhöhte Zunahme an Breitbandbedarf in den letzten Jahren ist die Anzahl an Glasfasernetzen enorm gestiegen. Dabei wäre der Idealfall eine direkte Glasfaseranbindung an den Anwender (Fiber To The Home (dt. Faser bis ins Haus)). Da dies hier aber noch nicht immer der Fall ist, wird die Glasfaser an einem bestimmten Punkt durch ein anderes Datenkabel (Koaxialkabel) ersetzt und bis zum geplanten Endpunkt (z.B. Wohnhaus) weiter verlegt. Der Punkt, an dem dieser (Kabel-) Übergang stattfindet, ist also ein FN. Ein FN ist in einem einfachen Kasten meist am Straßenrand bzw. Gehsteig untergebracht und kann dort zusätzlich mit einem handelsüblichen WLAN-Router ausgestattet werden.

Nachfolgende Karte (Abb.11) zeigt einen schematischen bzw. generalisierten Überblick über das Glasfasernetz der Firma UPC Austria in Wien. Dabei ist der Kern des Netzes ein leistungsfähiger Supertrunk (Trunkkabel = Hauptversorgungskabel in Breitbandsystemen), von dem aus weitere Glasfaserkabel zu den FN verlegt sind.

Glasfasernetz UPC Austria Wien 2012

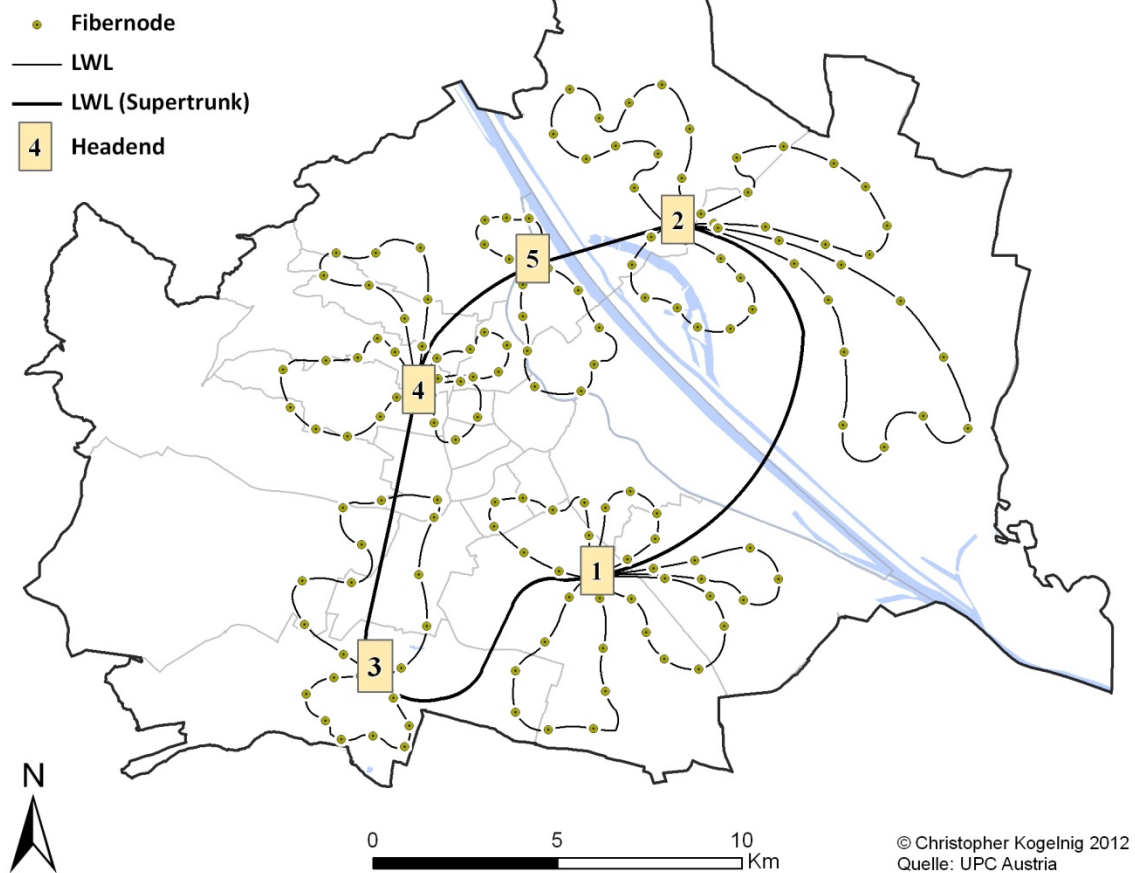


Abb. 11: Glasfasernetz UPC Austria Wien 2012 (eigene Grafik)

An dieser Stelle sei zusätzlich erwähnt, dass die Kabelgebiete immer kreisförmig angeordnet sind, um etwaige Ausfälle kompensieren zu können. Insgesamt befinden sich in Wien weit mehr als 500 FN.

4.1.2 WLAN-Netzwerke

Was ist nun ein WLAN-Netzwerk, welche Funktionen stecken dahinter und wie beeinflusst es die Empfangsqualität? WLAN ist, wie eingangs schon erwähnt, die Abkürzung für Wireless Local Area Network (dt. kabelloses lokales Netzwerk) und dient der Datenübertragung ohne physische Verbindung. Die Übertragung erfolgt hier durch die Luft an Hand von Funkwellen. Ausgehend vom LAN (engl. Local Area Network dt. lokales räumliches Netzwerk) versteht man darunter ein räumlich begrenztes, in sich geschlossenes Netzwerk. Abb.12 listet die grundlegenden Typen von (Computer-) Netzwerken auf.

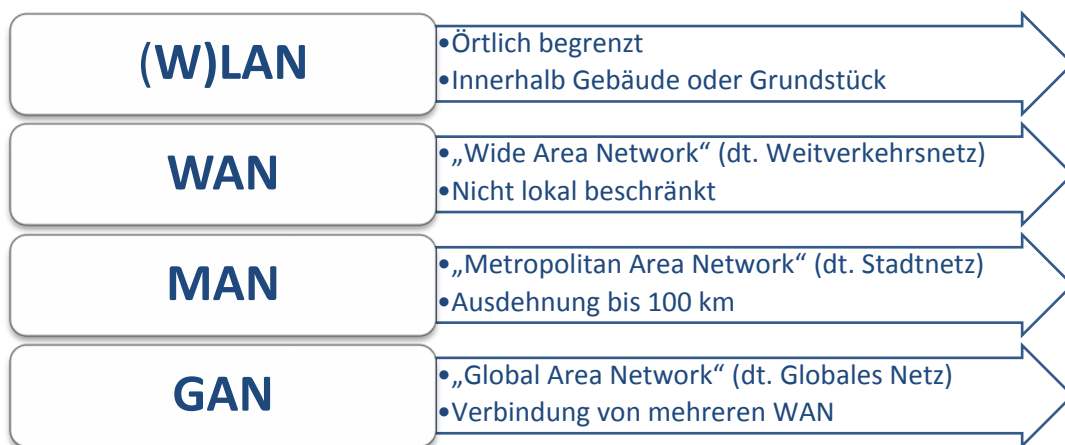


Abb. 12: Arten von (Computer-) Netzwerken (eigene Grafik)

WLAN-Netzwerke lassen sich je nach Gebrauch und Nutzen grundsätzlich in zwei Betriebsmodi einteilen:

Ad-Hoc-Modus:

Dieser Modus ist eine drahtlose, direkte Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Computern, welche mit einem (WLAN-)Netzwerkmodul bzw. einer Netzwerkkarte ausgestattet sind. In diesem Modus ist kein AP vorhanden. Die Computer stellen eine direkte Verbindung miteinander her, sofern sie sich in der Sende- und Empfangsreichweite der WLAN-Netzwerkkarten befinden. Allerdings gibt es in diesem Modus eine Beschränkung der Benutzeranzahl.

Infrastruktur-Modus:

In diesem Modus erfolgt die Kommunikation durch einen AP bzw. eine Basisstation. Die Kommunikation der Computer erfolgt nicht direkt miteinander, sondern wird durch den AP gesteuert und geführt. Ein AP stellt Netzwerkanschlüsse zur Verfügung, mit denen die jeweiligen Endgeräte vernetzt werden können.

Ein AP ist also die Basisstation, welche als Schnittstelle für die kabellose Kommunikation genutzt wird. Die jeweiligen Endgeräte (PC, Laptop, Smartphone, etc...) stellen eine Funkverbindung mit dem AP her, welcher wiederum mit einem fest installierten Kommunikationsnetz in Verbindung steht (hier: Netz des Telekommunikationsanbieters UPC Austria). Im Normalfall wird ein WLAN-Netzwerk mit nur einem AP ausgestattet (= Basic Service Set, dt. Basisservice). Es besteht allerdings die Möglichkeit, diesen Service mittels mehreren AP zu erweitern. In diesem Fall wird der Begriff ESS (= Extended Service Set, dt. erweitertes Service) verwendet (Abb.13). [INTf-12]

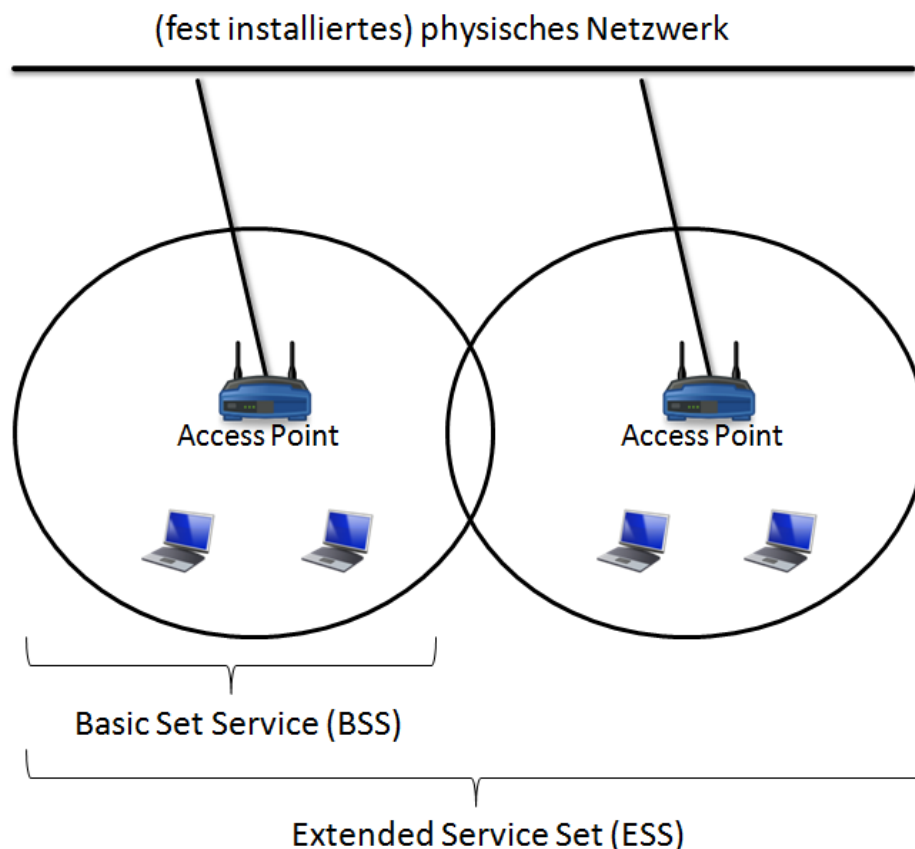


Abb. 13: Basic und Extended Service Set (eigene Grafik nach [INTf-12])

Der Vorteil von mehreren AP ist die Vergrößerung der Reichweite des Funknetzes. Mit einem ESS kann ein beliebig großes Einzugsgebiet für das Netzwerk erreicht werden.

Neben den verschiedenen Ausprägungen von (Computer-) Netzwerken ist das Grundelement der Datenübertragung innerhalb eines WLAN-Netzwerkes das Funknetz. In diesem werden Informationen mittels Funkwellen bzw. em-Wellen (vgl. Kapitel 4.2) durch die Luft übertragen. Funknetzwerke spielen in den unterschiedlichsten Bereichen der heutigen Kommunikation eine wichtige Rolle (Mobilfunk, Fernsehen, etc...).

Ein AP weist einen (räumlichen) Einzugsbereich auf, in welchem sich die Endgeräte mit dem Netzwerk verbinden können. Dieser Einzugsbereich, in dem der AP das Zentrum darstellt, wird Funkzelle genannt (Abb.14). Die Größe und Reichweite der jeweiligen Funkzelle wird dabei durch die meteorologischen und geographischen Gegebenheiten sowie die Sendeleistungen, Positionen und Art der verwendeten Antennen bestimmt. Im Durchschnitt ist bei einer freien Ausbreitung von einer Antenne mit einer Reichweite von ca. 100 Metern im Außenbereich zu rechnen, wobei diese Reichweite in der Praxis oft unterschiedlich ist. [INTf-12]

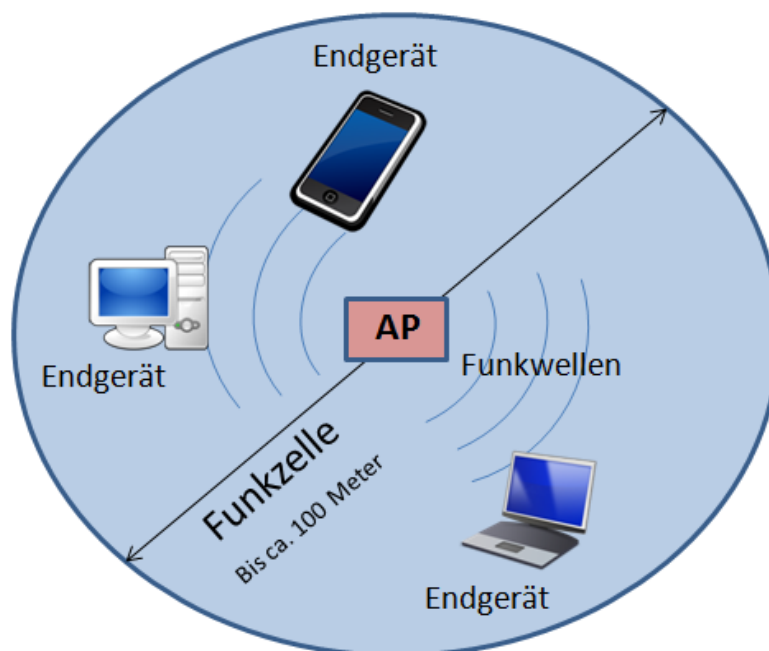


Abb. 14: Vereinfachte Darstellung einer WLAN-Funkzelle (eigene Grafik)

Im Bereich der WLAN-Netzwerke und ihrer Normen muss zudem auf das Institute of Electrical and Electronics Engineers³ (IEEE) verwiesen werden. Das IEEE ist der weltweit größte Verband von Ingenieuren aus den Bereichen der Elektronik und Informatik mit Hauptsitz in New York City. Als Veranstalter und Herausgeber von Fachtagungen und Fachzeitschriften bildet das IEEE Gremien für die Standardisierung von Hardware, Software und anderen Techniken. So ist es auch im Gebiet der WLAN-Netzwerke im Jahr 1997 zu einer Standardisierung für die Kommunikation in Funknetzwerken gekommen. Die IEEE-Norm für die drahtlose Kommunikation in WLAN-Netzwerken wird als IEEE 802.11 bezeichnet. Genauer gesagt ist es eine Normenfamilie, welche als Designgrundlage von Kommunikationsprotokollen in Computer-Netzwerken eingesetzt wird. Ohne diese Normengrundlage wäre eine kabellose Kommunikation innerhalb von WLAN-Netzwerken oder auch in anderen kabellosen Kommunikationsmedien kaum denkbar. Diese Norm setzt eine Datenübertragung per Funkwellen in einem bestimmten Frequenzbereich voraus, wobei sich diese im Laufe der Zeit um spezifische Varianten erweitern können (z.B. anderer Frequenzbereich, schnellerer Datentransfer, etc...). Momentan ist die Variante 802.11g im Einsatz, welche allerdings in nächster Zeit durch 802.11n (5GHz-Band, bis zu 600 MBit/s brutto) ersetzt werden wird. Die Norm 802.11g ermöglicht hingegen nur eine Datentransferrate von maximal 54 Mbit/s und arbeitet im Frequenzband von 2.400 bis 2.483,5 GHz. Ein Frequenzband bezeichnet gewisse Frequenzbereiche, in welchen die Kommunikation durch em-Wellen erfolgt. Dabei muss zusätzlich erwähnt werden, dass die Frequenzzuteilungen in diesem 2,4 GHz-Band von Staat zu Staat unterschiedlich sind. Für Österreich ist dafür unter anderem die Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) zuständig. [WIKa-12]

Abb.15 zeigt einen Überblick über WLAN im 2,4 GHz-Band und die dazugehörigen Kanäle. Diese nützen jeweils eine Bandbreite von ca. 80 MHz, wobei es hier auch zu Überlappungen kommen kann und dadurch praktisch nur mehr wenige Kanäle genutzt werden können.

³ <http://www.ieee.org/index.html>

2,4 GHz-Spektrum

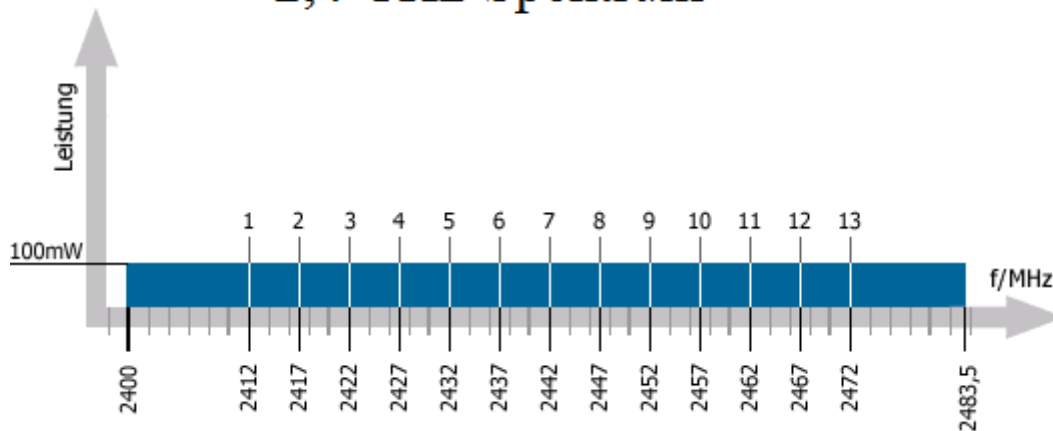


Abb. 15: WLAN im 2,4 GHz-Band und Kanäle nach [RTR-12]

Insgesamt gibt es in Europa 13 Kanäle, wobei diese erst nach und nach in den europäischen Ländern gültig wurden. Bei der Konfiguration eines oder mehrerer AP muss zusätzlich darauf geachtet werden, dass diese räumlich nicht zu eng beieinander liegen, um eine Überlappung der Kanäle zu vermeiden. Diese Überlappungen können sonst zu Übertragungseinbußen führen und die Datentransferrate verringern. Vor allem wenn ein flächendeckendes WLAN-Netzwerk aufgebaut werden soll, ist dies eine nicht zu unterschätzende Größe.

4.1.3 Strahlungsleistung und Signalstärke

Die grundlegende Frage, die sich im Zusammenhang mit WLAN-Netzwerken stellt, ist die Strahlungs- bzw. Sendeleistung eines AP. Diese ist ausschlaggebend für die erhaltene Signalstärke eines Endgeräts an einer bestimmten Position.

Strahlungs- und Sendeleistung:

Da Antennen sowohl einen Sendeleistungs- als auch einen Empfangsgewinn mit sich bringen, wird statt der Sendeleistung die Strahlungsleistung eines AP zur besseren Betrachtung herangezogen. Die Strahlungsleistung von WLAN-Antennen ist unter anderem abhängig vom eingesetzten Frequenzband. Die maximal zulässige Strahlungsleistung (kurz EIRP = engl. Equivalent Isotropically Radiated Power) beträgt im

2,4 GHz-Band 100 mW (Einheit: Milliwatt) = 20 dBm (Einheit: Dezibel Milliwatt), wobei nach [INTg-12] folgendes gilt:

$$P_{\text{(dBm)}} = 10 * \lg_{10} \left(\frac{P_{\text{(mW)}}}{1\text{mW}} \right)$$

$$1 \text{ mW} = 0 \text{ dBm}$$

$$10 \text{ mW} = 10 \text{ dBm}$$

$$100 \text{ mW} = 20 \text{ dBm (max. erlaubt im 2,4 GHz-Band, IEEE 802.11g)}$$

$$1000 \text{ mW} = 30 \text{ dBm (max. erlaubt im 5 GHz-Band, IEEE802.11n)}$$

dBm leitet sich von der Einheit Bel ab, welche zu Ehren von Alexander Graham Bell eingeführt wurde. Mittels Bel wird ein Pegel repräsentiert, der meist in Bezug zu einem bestimmten Grundwert steht. Das Bel entspricht einer logarithmischen Größe und wird benutzt, um ein bestimmtes Verhältnis auszudrücken. Das Bel stellt also eine Verhältniszahl dar. In der Praxis ist allerdings die Verwendung des Wertes dB (= Dezibel) üblich. Dabei ist dB die Einheit für das Verhältnis zweier Leistungspegel und als relative, dimensionslose Einheit anzusehen. In Bezug zu obigen Fall muss von einer absoluten Größe gesprochen werden (dBm). Tab.3 gibt zusätzlich einen Überblick über unterschiedliche dBm-Werte hinsichtlich ihres Auftretens. [PFL-10, S.80 f.]

dBm - Niveau	Übliches Vorkommen
80 dBm (100 kW)	Typische Strahlungsleistung für den UKW-Rundfunk
33 dBm (2 W)	Maximale Strahlungsleistung eines Mobiltelefons
30 dBm (1 W)	Maximale Strahlungsleistung im WLAN 5GHz-Band
20 dBm (100 mW)	Maximale Strahlungsleistung im WLAN 2,4GHz-Band
15 dBm (32 mW)	Durchschnittlich innerhalb von WLAN-Netzwerken
4 dBm (2.5 mW)	Bluetooth Klasse 2, 10m Reichweite
0 dBm (1 mW)	Bluetooth Standard, 1m Reichweite

Tab. 3: dBm-Niveau und Vorkommen nach [WIKb-12]

Signalstärke:

Grundsätzlich ist die Übertragungsqualität eines WLAN-Signals sowohl von der Empfangssignalstärke (RSSI, engl. Received Signal Strength Indication) als auch dem Rauschpegel (engl. Noise) abhängig. Der Rauschpegel steht für die Störungen, denen Funkwellen bei ihrer Ausbreitung ausgesetzt sind. Dabei gilt hier: [INTb-12]

$RSSI - Noise = SNR \text{ (dBm)}$ (engl. Signal to Noise Ratio, dt. Signal-Rauschabstand)

Die SNR beschreibt in diesem Fall, um wie viel stärker das Signal als das Rauschen am Endgerät eintrifft. Je größer der SNR-Wert, desto besser ist die Qualität des WLAN-Signals. RSSI gilt als Indikator für die Stärke des ankommenden Signals. Hier gilt allgemein, je näher der Wert gegen 0 geht, desto besser ist die Signalstärke. An Hand geeigneter Software lässt sich auch mittels Laptop und Smartphone die momentane RSSI innerhalb eines WLAN-Netzwerkes einfach feststellen (Abb.16).

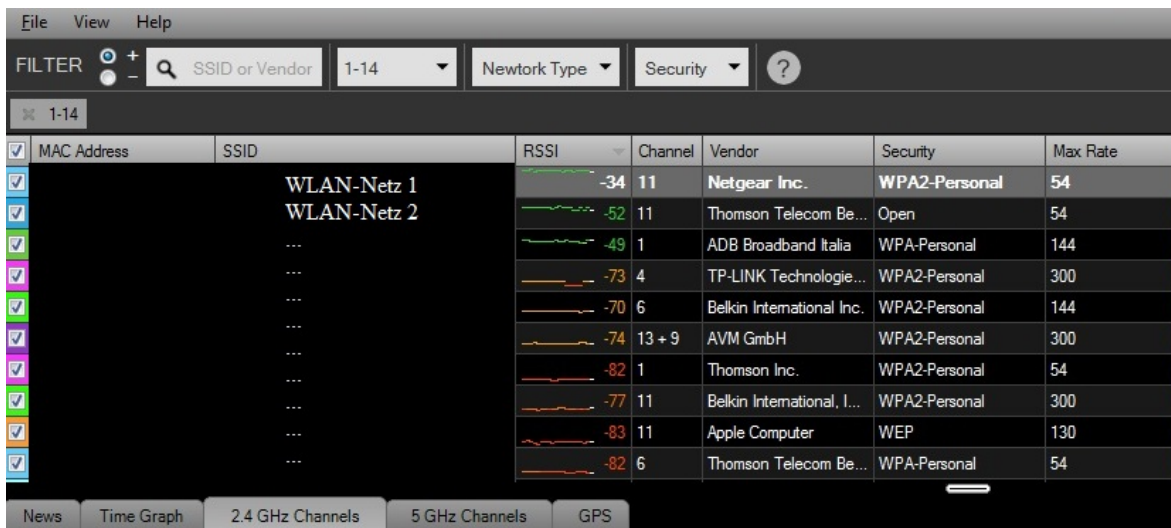


Abb. 16: RSSI-Messung mittels inSSIDer-Software [SSD-12]

SSID = Name des WLAN-Netzwerkes

RSSI = empfangene Signalstärke

Channel = verwendeter Kanal

Security = Verschlüsselungsart des WLAN-Netzwerkes

Max Rate = maximale Übertragungsrate des AP (54 Mbit/s)

In obiger Abbildung wurden mittels Laptop, Software und WLAN-Adapter die sich in der Nähe befindlichen AP aufgelistet. Die durchschnittliche empfangene Signalstärke beträgt meistens zwischen -50 bis -80 dBm. Im hier verbundenen WLAN-Netz (WLAN-Netz 1) ist das Signal auf Grund der Nähe zum AP (ca. 4 Meter) außerordentlich gut. -34 dBm entsprechen in dieser RSSI-Messung einer Leistung von 0.000389 mW: [INTg-12]

$$P_{(\text{mW})} = 10 \left(\frac{P_{(\text{dBm})}}{10} \right)$$

$$P_{(\text{mW})} = 10 \left(\frac{P_{(-34)}}{10} \right) = 0.000389 \text{ mW}$$

An diesem Beispiel ist auch zu erkennen, dass mehrere AP dieselben Kanäle benützen. Hier würde sich das Wechseln auf einen anderen Kanal sicherlich auf die Übertragungsqualität positiv auswirken.

4.2 Elektromagnetische Strahlung

Die em-Strahlung beschreibt die Ausbreitung von em-Wellen. Diese Strahlung entsteht durch die Schwingungen elektrischer und magnetischer Ladungen und breitet sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit aus. Im folgenden Kapitel werden die Eigenschaften von em-Wellen und deren Ausbreitung aufgezeigt und die wichtigsten Parameter für das eigene Modell herausgefiltert.

4.2.1 Definition und Einführung

Elektromagnetische Wellen:

Allgemein gesagt übertragen bzw. transportieren em-Wellen Energie. Der Bereich der em-Wellen erstreckt sich von Gammastrahlung über das sichtbare Licht bis hin zu Radio- und Mikrowellen, wobei die wichtigsten Größen einer em-Welle immer ihre Wellenlänge λ (Einheit: $\lambda = \text{m}$) und Frequenz f (Einheit: $f = \text{Hz}$ (Hertz), 1 Hertz = 1 Schwingung pro Sekunde)) darstellen. Die unterschiedlichen Wellenlängen und Frequenzen werden im elektromagnetischen Spektrum festgehalten. Tab.4 veranschaulicht einen groben Ausschnitt des Spektrums im Bereich der Radio- und Mikrowellen.

<u>Wellenlänge (λ)</u>	<u>Frequenz (f)</u>	<u>em-Strahlung</u>	<u>Einsatz</u>
1 km	300 kHz	Radiowellen (Hochfrequenz)	Langwellen, Kurzwellen, Ultrakurzwellen im Radiobereich
100 m	3 MHz		
10 m	30 MHz		
1 m	300 MHz		
10 cm	300 MHz – 3 GHz	Mikrowellen (Hochfrequenz)	Mobilfunk, WLAN , Bluetooth, etc...
1 cm	3 GHz – 30 GHz		
1 mm	30 GHz – 300 GHz		

Tab. 4: Ausschnitt em-Spektrum im Radio- und Mikrowellenbereich nach [HUB-96, S.138]

Die Entstehung von em-Wellen lässt sich durch die Maxwell'schen Gleichungen begründen. Diese besagen, dass mit jeder zeitlichen Änderung des elektrischen Feldes immer eine räumliche Änderung des magnetischen Feldes einhergeht und umgekehrt. em-Wellen entstehen also durch die Wechselwirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern. Dabei schwingen sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld quer zur Ausbreitungsrichtung (= Transversalwelle) (Abb.17). Dabei ist kein Träger wie z.B. Luft für Schall notwendig, damit sich eine em-Welle im Raum ausbreiten kann. [UNib-06]

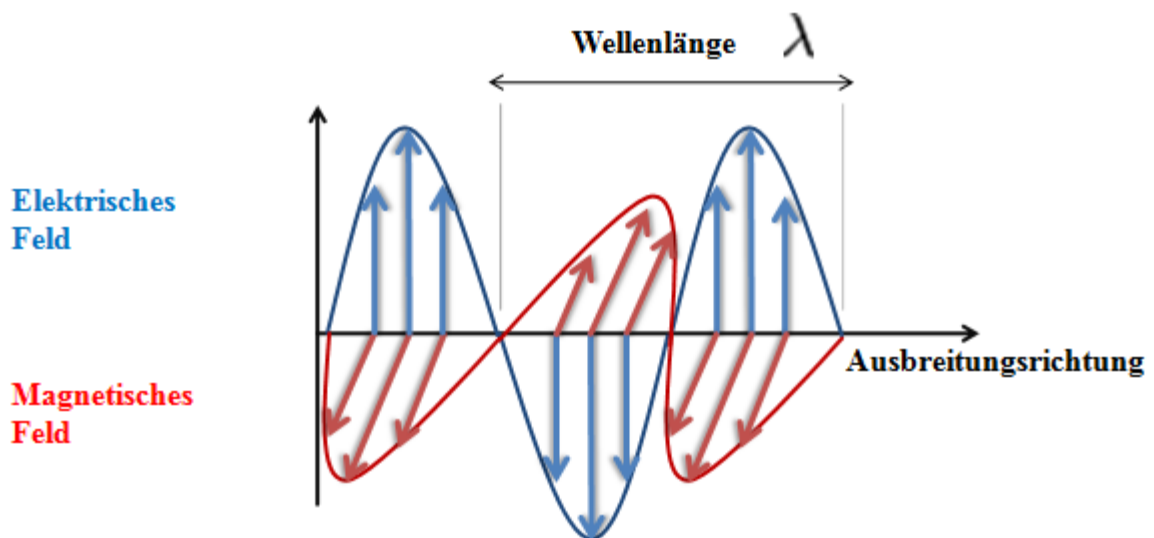


Abb. 17: Schwingungen des elektrischen und magnetischen Feldes (eigene Grafik nach [HAF-03, S.23])

Während die Wellenlänge die Distanz der Schwingung angibt, spiegelt die Frequenz die Schwingung pro Zeiteinheit wider. Dabei ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit c (Einheit: $c = 299.279.458 \text{ m/s}$) die Lichtgeschwindigkeit. Frequenz und Wellenzahl können nach [HUB-96, S.139] auch durch folgende Berechnungen ermittelt werden:

$$\text{Frequenz} = \frac{\text{Lichtgeschwindigkeit} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)}{\text{Wellenlänge}}$$

$$\text{Frequenz} = \text{Lichtgeschwindigkeit} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) * \text{Wellenlänge}$$

$$\text{Wellenzahl} = \frac{1}{\text{Wellenlänge (cm)}}$$

$$\text{Wellenzahl} = \frac{\text{Frequenz}}{\text{Lichtgeschwindigkeit } (\frac{\text{cm}}{\text{s}})}$$

Wie bereits erläutert transportieren em-Wellen Energie. Je höher die Frequenz, umso höher ist die Energie. Diese Energie tritt in Form von Photonen (aus dem Griechischen kommend = Licht) auf. Photonen sind also das, woraus em-Wellen bzw. em-Strahlung im Endeffekt bestehen.

Funkwelle:

Grundsätzlich ist eine Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlich erzeugten em-Wellen notwendig. Eine Funkwelle ist im Prinzip nichts anderes als eine künstlich bzw. technisch erzeugte em-Welle, welche durch eine Antenne abgestrahlt wird. Die Antenne erzeugt die bereits erwähnten elektrischen und magnetischen Felder, die sich als em-Wellen im Raum dreidimensional ausbreiten.

4.2.2 Ausbreitung von Funkwellen

Die Reichweite von Funkwellen ist je nach Frequenzbereich unterschiedlich. Niedrige Frequenzen haben eine größere Reichweite als höhere Frequenzen und umgekehrt. Obwohl die Reichweite bei hohen Frequenzen eingeschränkt ist, gibt es aber oft besseren Empfang und in Innenräumen eine günstigere Ausbreitung. Grundsätzlich breiten sich die Funkwellen im WLAN-Bereich von einer Antenne des AP isotrop aus. Dadurch nimmt die Strahlungsdichte mit der Entfernung ab. Zusätzlich muss hier erwähnt werden, dass die Abstrahlungscharakteristiken von der Antenne abhängen. Durch den Einsatz von unterschiedlichen Antennen besteht die Möglichkeit, in die Abstrahlung einzugreifen. So können bei der Abstrahlung von Funkwellen verschiedene Antennen für die gewünschten Zwecke genutzt werden: [STE-03, S.15 f.]

- Rundstrahlantennen:

Der Abstrahlungswinkel beträgt 360° und verursacht eine in der horizontalen Ebene gleichförmige Ausbreitung.

- Direktionale Antennen:

Der Einsatz erfolgt, um größere Reichweiten zu erzielen. Allerdings besitzen direktionale Antennen einen geringeren Öffnungswinkel (= Minimierung der Abstrahlungsleistung).

- Diversity Antennen:

Sie besitzen ein identisches Antennenpaar und minimieren Interferenzen bei der Funkwellenausbreitung (z.B. Reflexion).

- Aktive Antennen:

Sie finden Anwendung bei größeren Entfernungen (ca. 20 km). Aktive Antennen beinhalten einen zusätzlichen Verstärker.

Die bevorzugte Antennenart bei WLAN-Netzwerken sind die Rundstrahlantennen. Allerdings werden auch oft Diversity Antennen auf Grund ihrer Eigenschaft, Signalverzerrungen zu minimieren, eingesetzt. Funkwellen im WLAN-Frequenzband

breiten sich quasioptisch aus. Das bedeutet, dass sie sich ähnlich wie das Licht bei ihrer Ausbreitung verhalten. Ihr Ausbreitungsverhalten wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

➤ Freiraumdämpfung:

Die Freiraumdämpfung steht für die Einbußen an Signalleistungsdichte bei der Ausbreitung von em-Wellen. Da sich die em-Wellen kugelförmig bzw. isotrop vom Sender ausbreiten, wird die Sendeleistung bei weiterer Entfernung auf eine größere Fläche verteilt. Dadurch ist eine gewisse Signaldämpfung vorhanden, die bewirkt, dass die em-Wellen mit der Distanz an Energie verlieren und sich schließlich auflösen. Ein Signal ist dann nicht mehr zu empfangen. Die Freiraumdämpfung ergibt sich aus dem Logarithmus des Verhältnisses der Entfernung zur Wellenlänge. Die Angabe erfolgt dimensionslos in dB. [BER-07, S.106]

Neben der Freiraumausbreitung können bei der Ausbreitung von em-Wellen auf Grund der räumlichen Gegebenheiten weitere unterschiedliche Effekte auftreten (Abb.18):

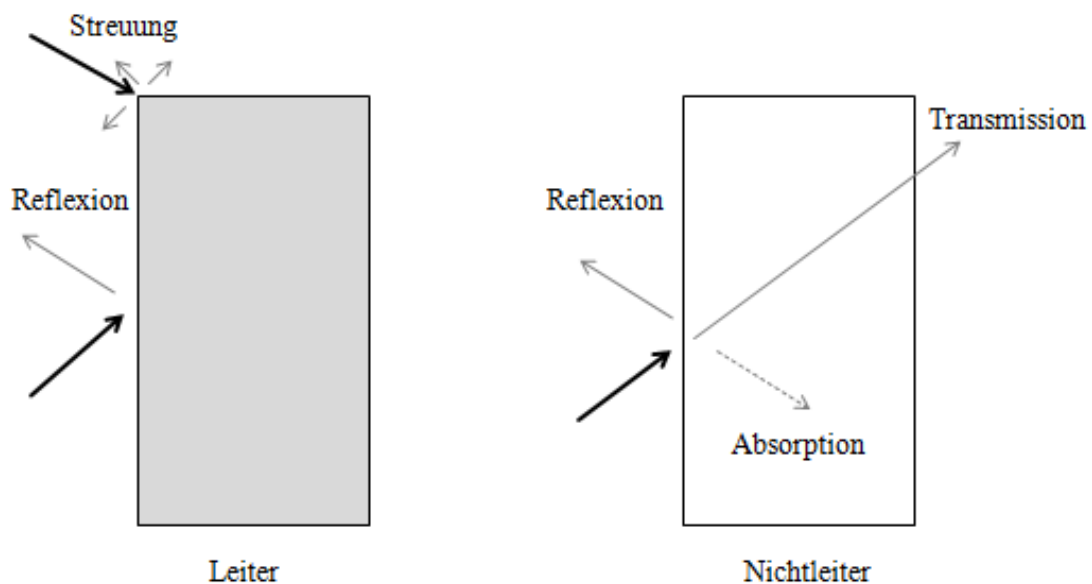


Abb. 18: Effekte bei der Ausbreitung von em-Wellen nach [MET-07, S.163]

All diese Faktoren tragen dazu bei, dass sich die Funkwellen bei ihrer Ausbreitung unterschiedlich verhalten. In städtischem Gebiet mit vielen Häusern, Gebäuden und

sonstigen Objekten sind dadurch eine genaue Berechnung dieses Effektes und das daraus resultierende Verhalten der Funkwellen nur sehr schwer vorherzusagen und zu ermitteln. Allerdings gibt es einige Modelle, die sich mit den Ausbreitungscharakteristiken von Funkwellen näher beschäftigen. Im Zentrum dieser Modelle steht immer der Pfadverlust. Der Pfadverlust beschreibt im Prinzip den Verlust an Signalleistung (= Dämpfung) mit wachsender Entfernung des Empfängers zum Sender in dB. Je geringer der Pfadverlust, desto besser ist der Empfang. Wichtige Bestandteile der Modelle können unter anderem sein: [UNIC-10]

- die Frequenz
- die Distanz zwischen Empfänger und Sender
- externe Störeinflüsse (Luft, Gase, Regen, etc...)
- die geometrischen Rahmenbedingungen (Gebäude, Bäume, etc...)

Auch mit all diesen Parametern ist eine genaue Bestimmung bzw. Modellierung des Signalverhaltens nur sehr schwer durchzuführen. Auf Grund der vielen räumlichen Veränderungen in Städten (z.B. Bau eines neuen Gebäudes) sind die Ergebnisse solcher Modelle auch nur zeitlich begrenzt gültig. Dabei kann aber zwischen empirischen (einfachste Form), deterministischen (höhere Genauigkeit) und semi-empirischen Modellen unterschieden werden: [UNIC-10]

Deterministische Modelle:

- feldtheoretische Modelle:

Lösungen von elektromagnetischen Gleichungen (Maxwellsche Gleichungen)

- strahlenoptische Modelle:

Ermittlung von „Strahlenverläufen“ von Sender und Empfänger

Im Bereich der strahlenoptischen Modelle stehen vor allem zwei Ansätze im Vordergrund: einerseits das Ray Tracing (dt. Strahlenverfolgung), bei dem ausgehend vom Empfänger die Energieverluste durch die Strahlenverläufe berechnet werden, und andererseits das Ray

Launching (dt. Strahlenstart oder Strahlenbeginn). Hier werden ausgehend vom Sender die isotropen Strahlenverläufe und anschließend die Empfangsenergie ermittelt (Abb.19).

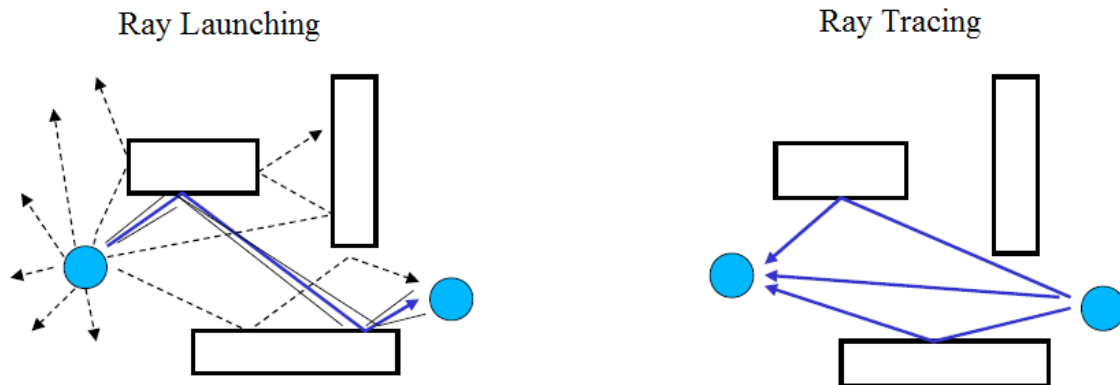


Abb. 19: Ray Launching und Ray Tracing nach [UNIC-10]

Die Auswahl der verschiedenen Modelle ist zudem auch vom räumlichen EZG abhängig. Im Fall der Funkwellen sind dies die bereits bekannten Funkzellen. Tab.5 gibt einen kurzen Überblick über einige Modelle für die jeweiligen Distanzen.

Modell	Anwendung
Okumura Hata (Makrozelle)	Entfernung: 20 km Frequenz: bis 1 GHz
Walfish Ikegami (Makrozelle)	Entfernung: 5 km Frequenz: 0,8 - 2 GHz
Urban Pico (Picozelle)	Entfernung: 100 m Frequenz: 600 - 60 GHz
Urban Micro (Mikrozelle)	Entfernung: 2 km Frequenz: 300 MHz - 3 GHz
Parabolic Equation Method (global)	Entfernung: 2000 km Frequenz: 300 kHz - 30 GHz

Tab. 5: Geeignete Ausbreitungsmodelle für verschiedene Distanzen nach [UNIC-10]

Die aufgelisteten Modelle benützen dabei unterschiedliche Ansätze und Parameter für ihre Berechnungen. Eine weniger komplexe Variante ist die Berechnung des Pfadverlustes im (theoretisch vorhandenen) freien Raum ohne Störquellen und sonstige Hindernisse oder externe Einflüsse (engl. Free Space Path Loss, kurz FSPL). Dabei wird wieder von einer isotropen, kugelförmigen Abstrahlung ausgegangen. Bei einer Ausbreitung im freien Raum mit Sichtverbindung kann mittels folgender Formeln der Pfadverlust in dB berechnet werden: [KEN-11, S.50] [UNIC-10]

$$FSPL_{(dB)} = 10 * \lg\left(\frac{4 * \pi * R}{\lambda}\right)^2 = 32,44 + 20 \lg\left(\frac{f}{\text{Mhz}}\right) + 20 \lg\left(\frac{d}{\text{km}}\right)$$

d = Distanz zwischen Sender und Empfänger (in Kilometer)

f = Frequenz (in MHz)

Wendet man diese Formel auch im 2,4 GHz-Spektrum des WLAN-Bereiches an, so ergibt sich bei einer Entfernung von z.B. 100 Metern vom Sender folgender Pfadverlust:

$$FSPL_{(dB)} = 32,44 + (-20) + 67,60 = 80,04$$

Das bedeutet, dass bei einer Distanz von 100 Metern die Strahlung 80,04 dB an Strahlungsintensität verlieren würde. Die Empfangssignalstärke wird dementsprechend niedriger. Eine hohe Frequenz bringt aber auch einen höheren Pfadverlust mit sich. Die nachfolgende Tab.6 listet einige Berechnungsergebnisse mit der Annahme einer Frequenz von 2,4 GHz auf.

Distanz	Pfadverlust im Freiraum
1 m	40 dB
5 m	54 dB
10 m	60 dB
50 m	74 dB
100 m	80 dB

Tab. 6: Berechnungen des Pfadverlustes im Freiraum nach Distanzen

Die Berechnung des Pfadverlustes im Freiraum ist aber im Vergleich zu den aufgelisteten Modellen, welche zusätzliche Dämpfungen von Gebäuden und Gegenständen oder aber auch Absorptionsverluste, Reflexionen, Abschattungen und Strahlenwege miteinbeziehen, eher ungenau. Des Weiteren sind für exaktere Schätzungen die Abstrahlhöhen und das Leistungsvermögen von Antennen von großer Bedeutung. Dazu gesellen sich ebenso externe Einflüsse wie Regen, Nebel oder sonstige atmosphärische Dämpfungen. Trotz vieler Unsicherheitsfaktoren lässt sich durch die Ermittlung des Pfadverlustes im Freiraum aber ein grundsätzliches Verhalten der em-Wellen bei ihrerer Ausbreitung vorhersagen.

4.2.3 Parameter für das Modell

Wie in Kapitel 5.1.4 näher erläutert wird, soll zusätzlich mittels GIS versucht werden, die Ausbreitung und das Verhalten der ausgesendeten Signale auch ohne erhobene Messdaten zu berechnen und zu visualisieren. Dass die Analysen und Darstellungen der Ausbreitungen von em-Wellen sehr kompliziert und komplex sein können, wurde bereits im vorigen Kapitel besprochen. So wird hier für die Ermittlung des Signalverhaltens einerseits auf die Erfahrungen von Messungen in den vorhandenen WLAN-Gebieten zurückgegriffen und andererseits auf den bereits bekannten Pfadverlust im Freiraum. Aus den erhobenen Daten lassen sich einige markante Elemente und Objekte, die Einfluss auf die Signalausbreitung üben, ableiten. Um diese Einflüsse auch als solche sichtbar zu machen, werden sie mit einer zusätzlichen (Signal-)Dämpfung versehen. Dadurch wird neben der Abnahme der Signalstärke mit wachsender Entfernung ein zusätzlicher Einflussfaktor integriert. Darüber hinaus werden alle (Mess-)Punkte einer Sichtbarkeitsanalyse unterzogen. Die Parameter stellen ebenso wie die erhobenen Messdaten eine Momentaufnahme dar und können keinen Rückschluss auf die exakt vorherrschenden Verhältnisse geben. In nachfolgender Grafik (Abb.20) werden die drei Parameter für die Berechnung und Visualisierung des Signalverhaltens bzw. der Signaldämpfung durch die gewählten Einflussfaktoren aufgezeigt.

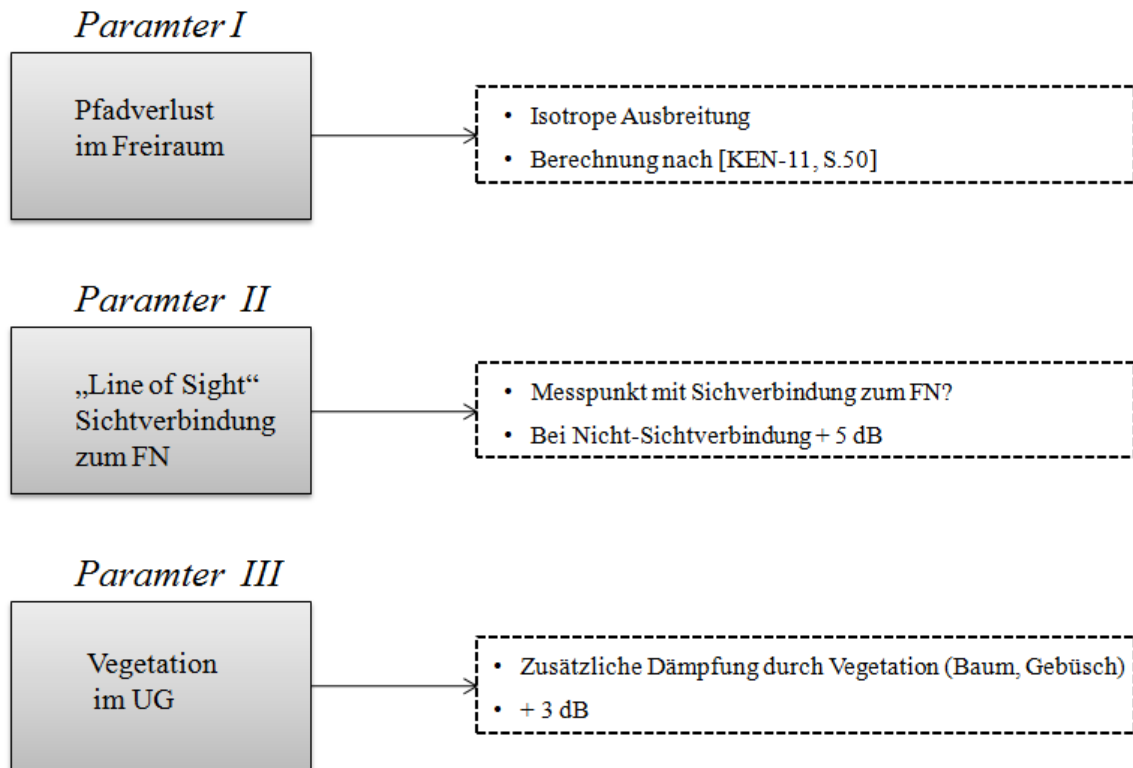


Abb. 20: Modellparameter (eigene Grafik)

Die Dämpfungswerte für Parameter II und III ergeben sich aus den Erfahrungen der Messungen der Signalstärke in den UG, können aber nur als Annäherung an die tatsächliche Dämpfung angesehen werden. Vor allem die Vegetation stellt eine sehr schwer zu berechnende Größe dar. Dabei kann sich das Dämpfungsverhalten von nur geringem Einfluss bis zur kompletten Auslöschung des Signals erstrecken. Entscheidend sind hier nicht nur die Dichte oder Größe eines pflanzlichen Hindernisses, sondern auch die vorherrschenden Witterungsbedingungen. Zum Beispiel üben nasse Blätter oder Pflanzen im Gegensatz zu trockenen einen anderen Einfluss auf das Signal aus. So soll mit diesem Parameter lediglich auf eine mögliche Dämpfung bei Vegetationseinflüssen hingewiesen werden. Die Line of Sight (dt. Sichtverbindung, kurz LOS) ist ein wichtiger Bestandteil der Berechnung des Pfadverlustes im Freiraum. Um den Einfluss der Nicht-Sichtverbindung mit einzubeziehen, wird eine Sichtbarkeitsanalyse durchgeführt. Dabei ist das Ziel, jene Messpunkte zu extrahieren und mit einer entsprechenden Dämpfung zu versehen, welche keine direkte Sichtverbindung zum FN besitzen.

Für die Umsetzung dieser Parameter und die Ermittlung der Dämpfung an einem (Mess-Punkt) müssen zudem zusätzliche Digitalisierungen, Berechnungen und räumliche Analysen und Abfragen im GIS durchgeführt werden. Eine detailliertere Behandlung dieses Prozesses erfolgt explizit in Kapitel 5.1.4.

5 Räumliche Interpolation der Signalstärke

Kapitel 5 widmet sich nun dem praktischen Teil der Arbeit. Neben einer einführenden Beschreibung der verwendeten Software werden zudem die Grundsätze des Geodatenmanagements besprochen und die verwendeten Daten für die räumlichen Analysen näher aufgezeigt. Anschließend erfolgt die Präsentation der UG. Des Weiteren werden die Analyseschritte und Werkzeuge genauer unter die Lupe genommen und die Ergebnisse ausführlich diskutiert und visuell mittels verschiedenster Karten, Grafiken, Tabellen und Zahlen sichtbar gemacht. Zum Schluss werden die angewandten Methoden und Techniken und deren Ergebnisse verglichen und auf ihre Aussagekraft und Richtigkeit geprüft.

5.1 Arbeitsgrundlagen und Untersuchungsgebiete

5.1.1 Software und Geobasisdaten

In Kapitel 2 wurde bereits eine kurze Einführung in die Welt der GIS und der Geodaten gegeben. Allerdings müssen in diesem Zusammenhang auch die Strukturen und Verarbeitungsmechanismen dieser Elemente genauer untersucht werden. Für die Verwaltung und Analyse von Geodaten bedarf es eines eigenen Geodatenmanagements. In GIS werden Geodaten hauptsächlich in Geodatenbanken gespeichert. Nebenbei gibt es, abhängig von der verwendeten Software, zahlreiche Formate und auch Austauschformate mit denen Geodaten ebenfalls verwaltet und bearbeitet werden und die auch unterschiedliche Kompatibilitäten aufweisen können. Auf die Strukturen und Visualisierungen von Geodaten sowie ihre Darstellung und Anwendung in einem GIS wird im Anschluss an die Präsentation der angewandten Software auch an Hand eigener Daten näher eingegangen.

In dieser Arbeit beschränken sich die verwendeten Datenformate und Softwareprodukte auf das bereits erwähnte (proprietäre) Programm ArcGIS der Firma ESRI. ArcGIS ist allerdings nur der Oberbegriff für unterschiedliche GIS-Softwareprodukte der Firma ESRI. Diese werden nach Art der Verwendung unterschieden und in umfangreiche Produktfamilien eingeteilt (Abb.21).



Abb. 21: Produktfamilien ArcGIS nach [ESR-12]

Für diese Arbeit ist allerdings nur das Produkt ArcGIS Desktop relevant. Die ArcGIS Desktop Produkte gliedern sich in verschiedene Teilprodukte, welche zudem unterschiedliche Funktionen und Werkzeuge beinhalten können. Diese Teilprodukte werden in Lizenzierungsstufen eingeteilt. Je nach Gebrauch und Nutzen können so die notwendigen Softwarekomponenten hinzugefügt oder eingeschränkt werden (Abb.22).

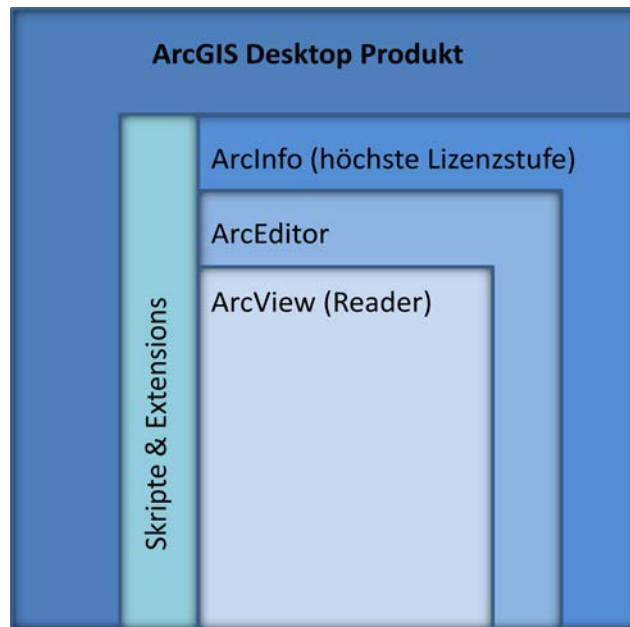


Abb. 22: ArcGIS Desktop Lizenzstufen nach [ESR-12]

Um räumliche Analysen und Aufgaben durchführen zu können, werden neben einer geeigneten Lizenzstufe (z.B. ArcInfo) zudem spezielle Erweiterungen (engl. Extensions) benötigt. Zum Produkt gehören außerdem mehrere (Haupt-)Anwendungen: [ESR-12]

ArcMap

Die Hauptaufgabe dieser Applikation besteht darin, Geodaten zu bearbeiten bzw. zu visualisieren, diese zu editieren oder aber auch zu analysieren. Darüber hinaus lässt sich nicht nur eine geeignete Kartenansicht erstellen, sondern es können auch kartographische Grundelemente (Maßstab, Legende, etc...) bearbeitet und eingefügt werden. Wichtige Bestandteile sind zudem die Georeferenzierung, Möglichkeiten zur Geokodierung, die Ausarbeitung von Modellen und räumlichen Fragestellungen sowie die Umsetzung und Integrierung von Skripten wie z.B. Python. Je nach Lizenzstufe stehen verschiedene Optionen und Tools zur Verfügung. Die Geodaten werden dabei immer in einer Ebenenstruktur (= Layer) angeordnet und visualisiert. Dabei können die Ebenen individuell verarbeitet und dementsprechend angepasst werden (z.B. Transparenz, farbliche Gestaltung, etc...). Die Werkzeuge (ArcToolbox, ModelBuilder) reichen von einfachen räumlichen Analysen wie Buffer oder Verschneidungen hin zu 3D-

Analysemethoden und vielem mehr. All diese Werkzeuge und Elemente sind allerdings an die jeweilige Lizenzstufe gebunden (Abb.23).

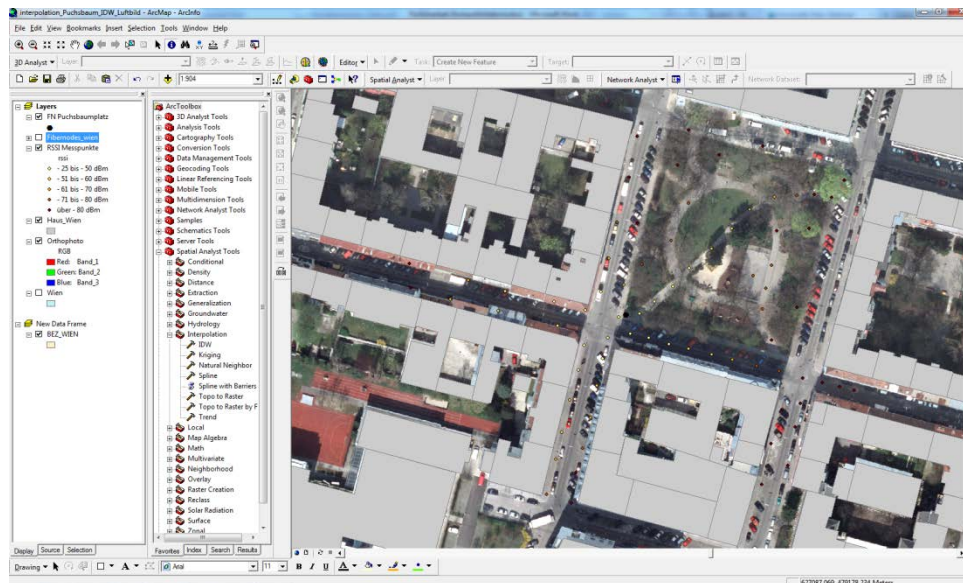


Abb. 23: Screenshot ArcMap Version 9.3.1

ArcCatalog

Um Geodaten überhaupt erst bearbeiten und analysieren zu können, müssen sie dementsprechend verwaltet oder aber natürlich zuerst erstellt werden. Diese Prozesse erfolgen im ArcCatalog, welcher sozusagen als Datenverwaltungskomponente dient. In erster Linie werden im ArcCatalog Geodaten in Form von Geodatenbanken gespeichert. Dabei können die Geodaten (Punkt, Linie, Fläche, Raster, etc...) in Personal Geodatabases oder File Geodatabases zusammengefasst werden. Mittels verschiedener Datasets (Feature, Raster, Network, etc...) können zudem schon Projektionen bzw. geodätische Grundlagen vordefiniert werden. Die Geodaten selbst werden z.B. im Fall des Feature Datasets als Feature Class abgelegt. Als Alternative gibt es zudem das Shape-Format (.shp), in welchem schon die räumlichen Vorbedingungen (Projektion, Koordinatensystem) mittels dazugehöriger Dateien integriert sind. Zudem enthält der ArcCatalog Werkzeuge zur Pflege und Ansicht von Metadaten und Tabellen sowie Möglichkeiten des Ex- und Imports von Geodatenätzen. ArcCatalog erlaubt aber nicht nur ein lokales Arbeiten mit Geodatenbanken. Die Applikation ermöglicht auch den Zugriff

auf Datenbanken innerhalb eines Netzwerkes oder auf externe Server. Allerdings werden dazu weitere Dienste wie der ArcSDE (Datenbankmanagementsystem) und ein Datenbanksystem (Oracle (Spatial), Microsoft SQL Server, etc...) benötigt (Abb.24).

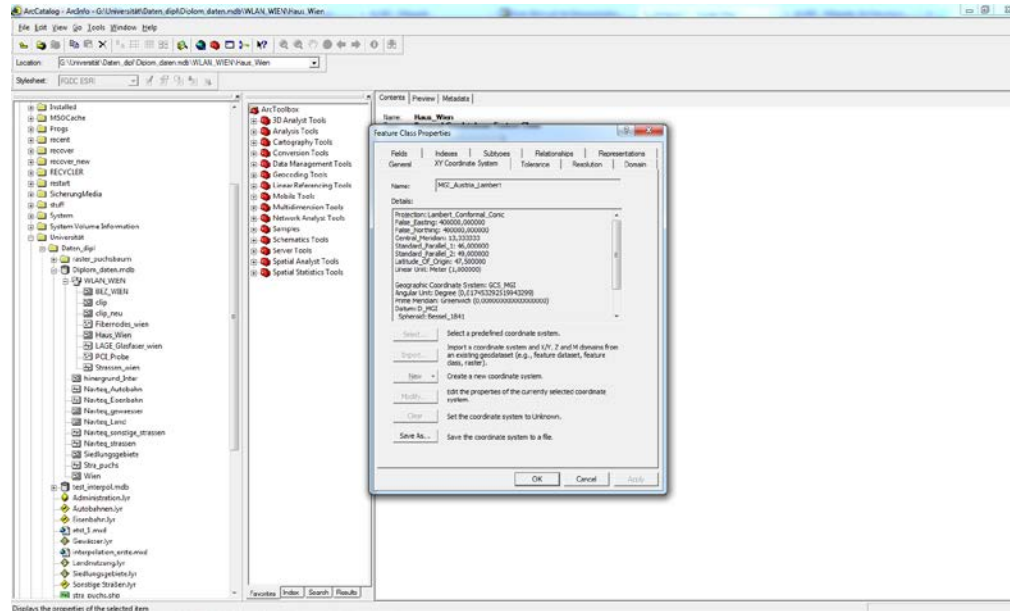


Abb. 24: Screenshot ArcCatalog Version 9.3.1

Zusätzliche Anwendungen

Neben den beiden Hauptanwendungen ArcMap und ArcCatalog können auch noch weitere Applikationen der Produktfamilie bei entsprechender Lizenz verwendet werden:

- ArcScene
 - Spezielle Gestaltung und Anzeige von Geodaten im 3D-Bereich
- ArcGlobe
 - Anzeige und Gestaltung von 3D-Globen
- ArcReader
 - Programm zur Anzeige von bereits vorgefertigten Karten im PMF (Portable Map File)-Format

Extensions

Um die gewünschten Analysen in dieser Arbeit durchführen zu können, werden zusätzlich zu den (Haupt-)Anwendungen spezielle Erweiterungen zur Bearbeitung herangezogen. Dabei bietet ArcGIS die Möglichkeit, die Extensions für die jeweiligen gewünschten Zwecke jederzeit zu aktivieren. Grundsätzlich wird für die Analysen die Extension Spatial Analyst verwendet.

Der Spatial Analyst dient als wichtiges Werkzeug, um ein erweitertes Spektrum an räumlichen Analysen anbieten zu können. Basierend auf Rasterdaten ist es möglich, räumliche Beziehungen zwischen Daten zu analysieren, Rasterberechnungen durchzuführen und Modelle zu entwickeln. Als Basis im Spatial Analyst fungiert ein Rasterdatensatz, der je nach Zielsetzung verändert und bearbeitet werden kann. Dieser wird in dieser Diplomarbeit durch Punktdaten, welche die Messergebnisse und die geschätzten Messwerte des UG enthalten, erzeugt und visualisiert (vgl. Kapitel 5.2.1).

Schlüsselfunktionen Spatial Analyst (Auswahl):

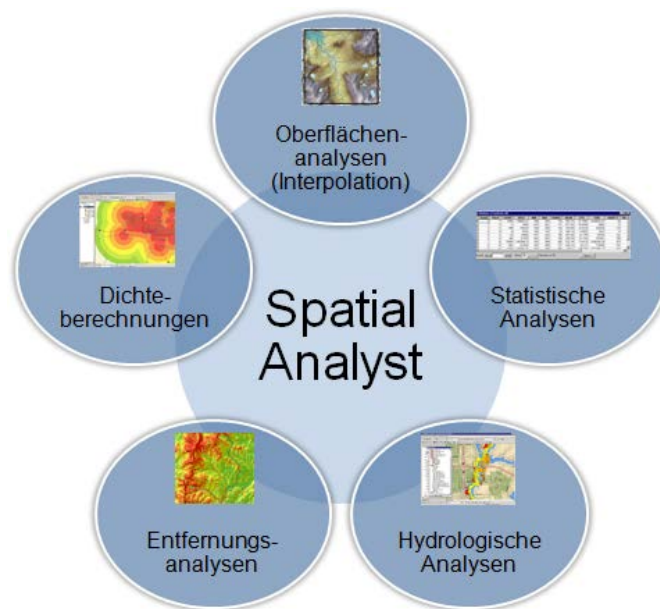


Abb. 25: Schlüsselfunktionen Spatial Analyst (eigene Grafik nach [ESR-12])

Zu den Anwendungen zählen neben der Interpolation kontinuierlicher Oberflächen aus Messpunkten, wie sie in dieser Arbeit verwendet werden, unter anderem auch Standortanalysen, (Reise-)Kostenberechnungen, Einzugsgebietsberechnungen in der Hydrologie, Sichtbarkeitsanalysen und komplexe Rasterberechnungen.

Datengrundlage

Alle Daten, die in dieser Arbeit verwendet, bearbeitet und analysiert werden, sind Eigentum der Firma UPC Austria unter Aufsicht und Verwaltung des GIS-Management Teams in Wien. Nachfolgende Abbildung (Abb.26) gibt einen Überblick über die Geobasisdaten, welche als räumliche Grundlage für die weiteren Analysen herangezogen werden.

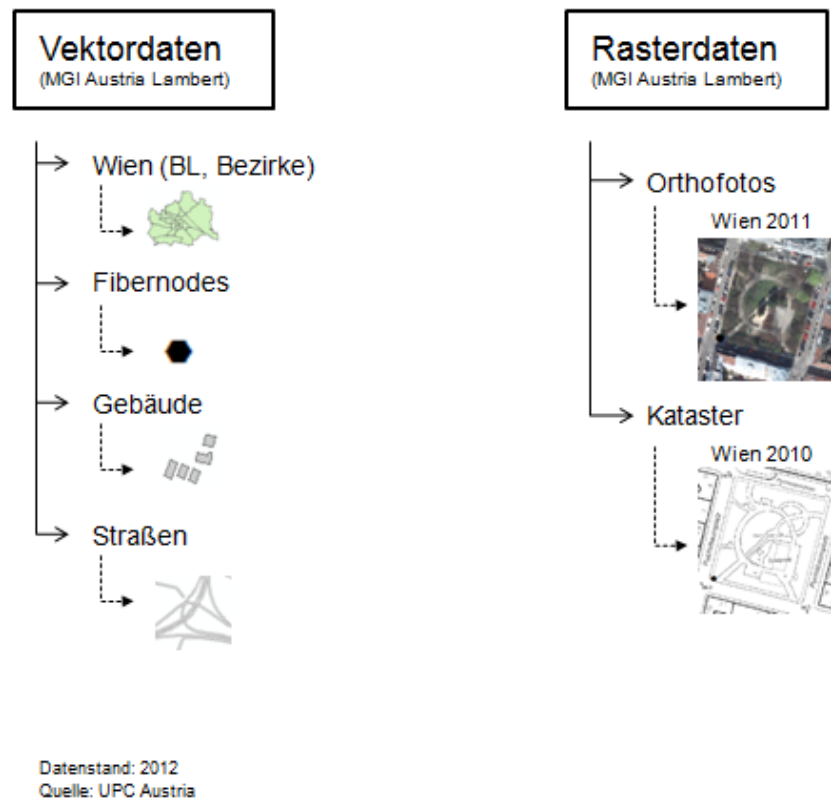


Abb. 26: Geobasisdaten (eigene Grafik)

Für die Bearbeitungen und auch Visualisierungen der Ergebnisse sind zudem weitere Daten erforderlich, welche aus den bestehenden Daten abgeleitet bzw. selbst erstellt wurden:

-
- ❖ Rasterdatensätze (Interpolationsergebnisse, Modellparameter II)
 - ❖ Zusätzliche Digitalisierungen für die Dämpfungsberechnungen
 - ❖ RSSI-Messungspunkte (eigene Erhebung und Digitalisierung)

5.1.2 Datenerfassung und Geodatenvisualisierung

Die wesentlichen Elemente der Analysen und Visualisierungen sind die bereits bekannten RSSI-Messwerte. Die Signalstärke musste in den betreffenden Gebieten mit WLAN-Netzwerken erst erfasst werden. Die Erhebungen fanden vor Ort mit entsprechender Hard- und Software statt. Um eine geeignete Datengrundlage für die Interpolationen zu erreichen, wurde versucht, die Signalstärke sowohl in regelmäßigen Abständen innerhalb des Empfangsbereiches zu erfassen, als auch markante Positionen (z.B. Gebüsch, Baum, etc...) herauszufiltern. Auf Grund der vorherrschenden Verhältnisse (z.B. Umbauarbeiten, Baustellen, etc...) in den UG war dies allerdings nicht immer gänzlich möglich. Als Erfassungsinstrument diente ein handelsübliches Mobiltelefon (Smartphone), welches sowohl mit entsprechender Signalerfassungssoftware als auch einem WLAN- und GPS-Modul ausgestattet war (Abb.27). So konnte die gemessene Signalstärke an einer Position innerhalb des Netzwerkes auch räumlich sofort referenziert werden.

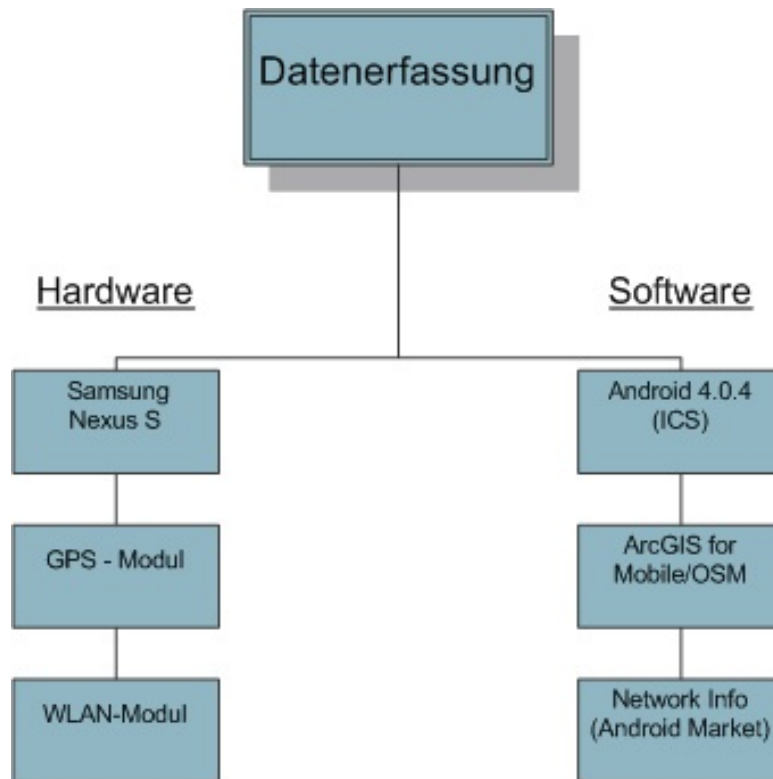


Abb. 27: Datenerfassungselemente RSSI-Messung (eigene Grafik)

Als Signalerfassungssoftware fungierte die Applikation Network Signal Info⁴, welche als frei erhältliche Applikation im Android Market zum Download zur Verfügung steht. Zur räumlichen Ortung und Aufzeichnung wurden sowohl Dienste der Open Street Map⁵ (OSM) als auch der ArcGIS for Mobile⁶ -Applikation in Anspruch genommen. Der weitere Prozess der Datenaufbereitung der RSSI-Messungen ist in Abb.28 dargestellt.

⁴ <http://www.androidpit.de/de/android/market/apps/app/de.android.telnet/Network-Signal-Info>

⁵ <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Navit/Android>

⁶ <http://resources.arcgis.com/de/content/arcgis-android/application>

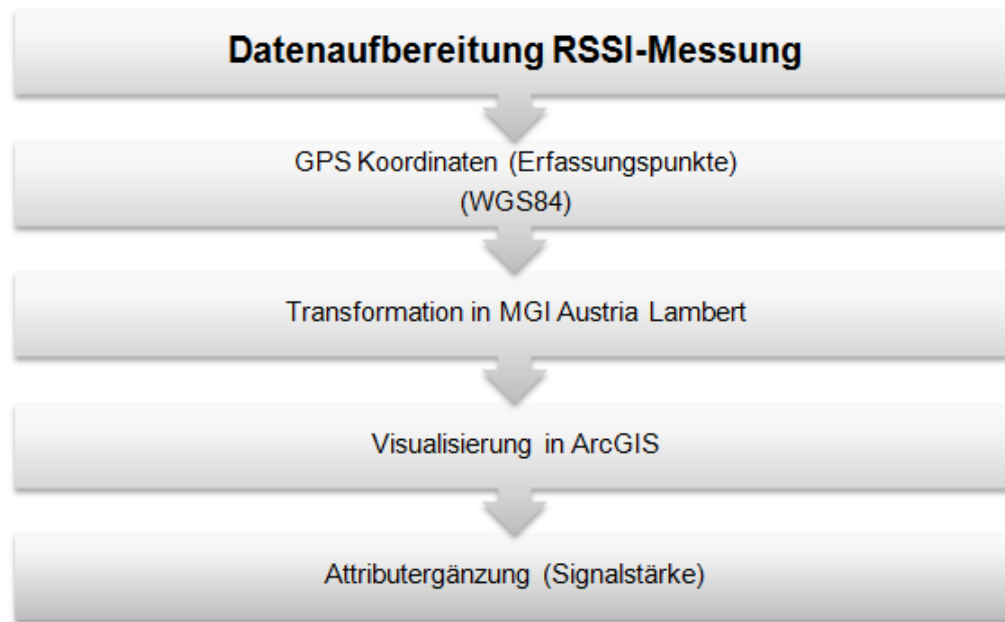


Abb. 28: Datenaufbereitung RSSI-Messung (eigene Grafik)

Genauere Angaben zu den erhobenen RSSI-Messungen werden explizit in den betreffenden WLAN-Gebieten angeführt und dargestellt (vgl. Kapitel 5.3). Insgesamt wurden über 150 Messungspunkte aufgezeichnet, transformiert und für die Interpolationen vorbereitet. Die Erhebung und Aufzeichnung des RSSI-Wertes kann allerdings nur als Momentaufnahme betrachtet werden. Jahreszeit, Witterung, Vegetation und örtliche Gegebenheiten (Fahrzeuge, Personen) nehmen maßgebend Einfluss auf die Ausbreitung sowie die Stärke des ankommenden Signals und schließlich auch auf die durchgeführte Signalmessung. Alle erhobenen bzw. auch bereits existierenden Daten werden, wie schon erwähnt, in ArcGIS mittels ArcCatalog verwaltet und mittels ArcMap visualisiert. Die Organisation von Geodaten muss als ein wesentlicher Bestandteil in einem GIS angesehen werden. Die Geodaten werden dabei in Form von thematischen Layern visualisiert. Ein thematischer Layer kann in diesem Fall eine Sammlung von gewöhnlichen geographischen Elementen wie z.B. Straßen, Grundstücksgrenzen, Bodentypen oder aber auch Satelliten- bzw. Orthophotos sein. Jeder (thematische) Layer kann dabei unabhängig von anderen Layern verwaltet, organisiert und visualisiert werden und beinhaltet selbst die entsprechende Information (Punkte, Linien, Polygone, Raster, etc...). Durch die (richtige) räumliche Referenzierung überdecken sich die Layer und können im GIS

dementsprechend aktiviert und präsentiert werden. Abb.29 zeigt diese Layerstruktur bzw. die angewendeten Datenmodelle an Hand der eigenen Daten. [ARC-04]

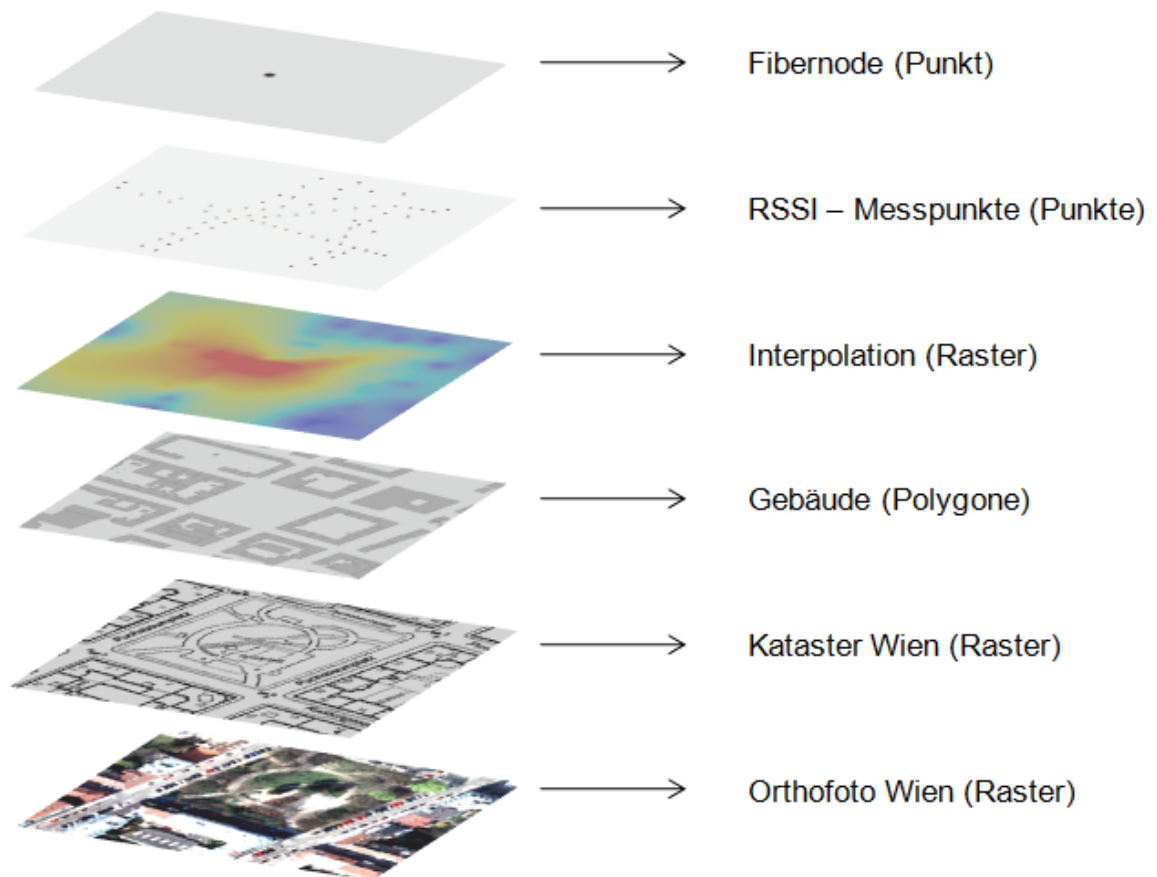


Abb. 29: Layerstruktur ArcGIS (eigene Grafik nach [ARC-04, S.05])

5.1.3 Untersuchungsgebiete

Die Signalstärke wird insgesamt in vier Untersuchungsgebieten (Abb.30) erhoben. An den vorhandenen FNs ist bereits ein WLAN-Router installiert, der mit einem Funknetzwerk (IEEE 802.11g) betrieben wird.

Untersuchungsgebiete Wien 2012

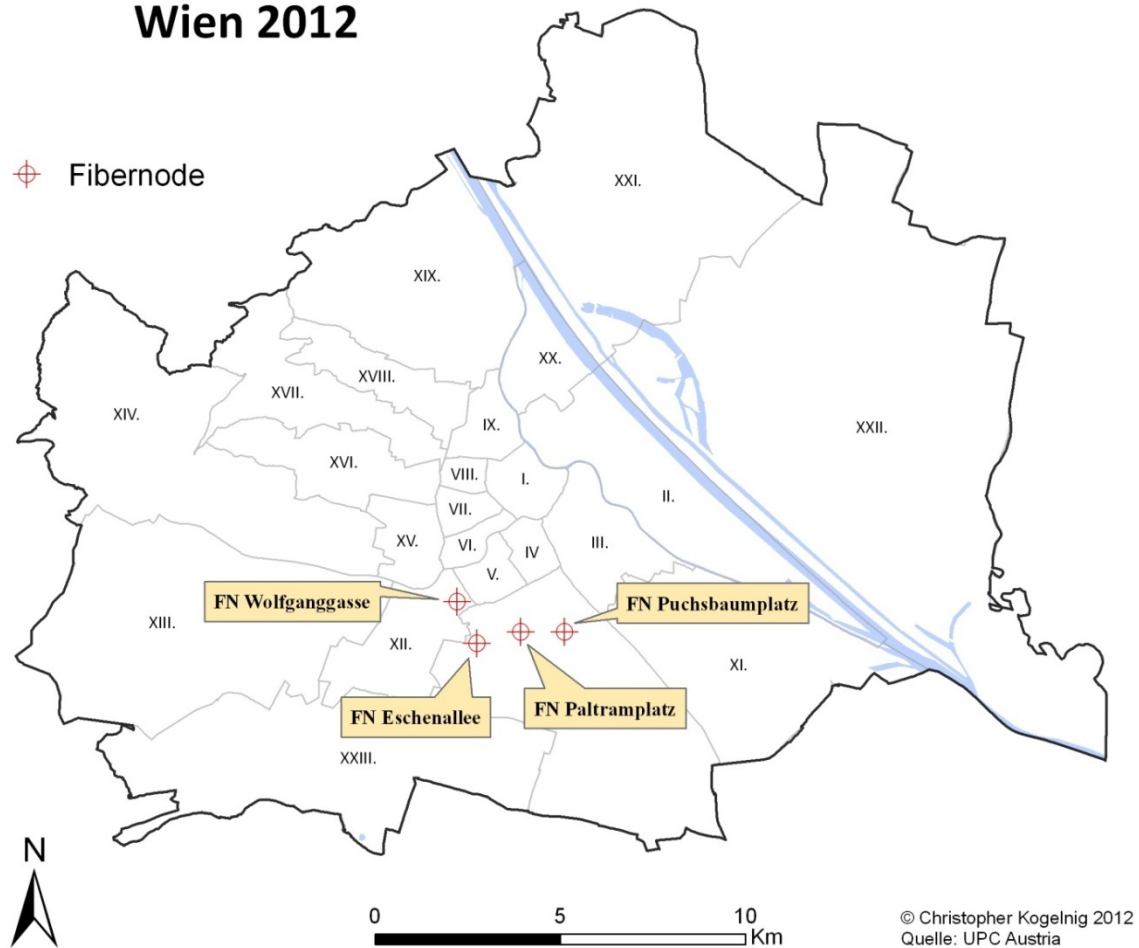


Abb. 30: Untersuchungsgebiete (eigene Grafik)

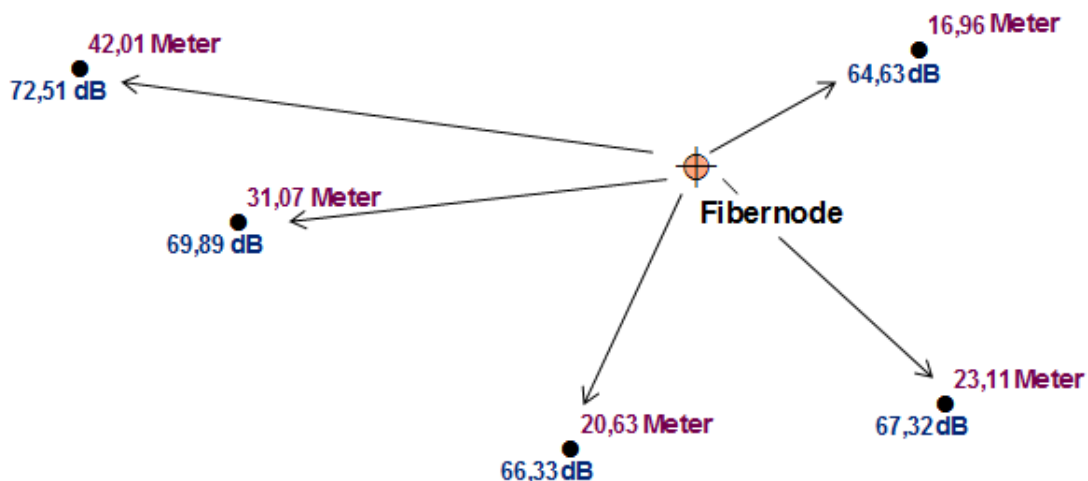
Dabei befinden sich zwei FNs (FN Paltramplatz und FN Puchsbaumplatz) innerhalb von oder angrenzend an Parkanlagen. Die restlichen beiden FNs nehmen einen Platz am Straßenrand bzw. Gehsteig ein.

5.1.4 Dämpfungsmodellierung im GIS

Die drei Parameter für das Modell wurden schon in Kapitel 4.2.3 kurz erläutert. Nun sollen die Umsetzung, Berechnung und Integrierung mittels GIS näher betrachtet werden.

Parameter I – Der Pfadverlust im Freiraum „FSPL“

Wie bereits bekannt, ist die Strahlung bei ihrer Ausbreitung durch die Luft einer (Freiraum-)Dämpfung ausgesetzt. Je weiter der Empfänger vom Sender entfernt ist, desto höher ist die Dämpfung und kann nach [KEN-10. S.50] berechnet werden. Das bedeutet, dass für die Erfassung dieses Parameters im GIS zuerst die Entfernungen der Messpunkte zum FN ermittelt werden müssen. Die zweite wichtige Größe, die Frequenz, ist technisch bereits vorbestimmt (2,4 GHz = 2400 MHz). Nach der Ermittlung der Distanz kann nun die Dämpfung (in dB) berechnet werden (Abb.31).



Shape *	NEAR DIST	Frequenz log	Distanz log	Dämpfung dB
Point	0,042013	67,6	-27,53	72,51
Point	0,031067	67,6	-30,15	69,89
Point	0,02311	67,6	-32,72	67,32
Point	0,020634	67,6	-33,71	66,33
Point	0,01696	67,6	-35,41	64,63

Abb. 31: Beispiel Ermittlung des FSPL nach Distanzen mittels ArcGIS (eigene Grafik)

Parameter II – Die Sichtverbindung (Line of Sight – LOS)

Durch Parameter II können alle Messpunkte erfasst werden, welche keine direkte Sichtverbindung zum FN aufweisen. Die dazu notwendige Sichtbarkeitsanalyse wird in ArcGIS in der Regel mittels Rasterdaten im Spatial Analyst durchgeführt. Da die Geodaten (Gebäude) in diesem Fall aber noch im Vektorformat vorliegen, sind vor der Durchführung der Sichtbarkeitsanalyse einige Geoverarbeitungsprozesse erforderlich. Um ein geeignetes Datenformat für die Analyse zu erhalten, wurde aus der *Feature Class* „Gebäude“ ein Rasterdatensatz erstellt. Dafür war es im ersten Schritt notwendig, den Gebäuden ein entsprechendes Attribut hinzuzufügen und sie mit einem zusätzlichen (Hintergrund-)Layer für einen vollständigen Rasterdatensatz zu vereinen. Nach der Konvertierung in Rasterdaten kann mittels Spatial Analyst die Sichtbarkeitsanalyse durchgeführt werden. Das Ergebnis ist ein Viewshed (dt. Sichtbereich), der die Sichtbarkeit, in diesem Fall ausgehend vom FN, widerspiegelt (Abb.32).

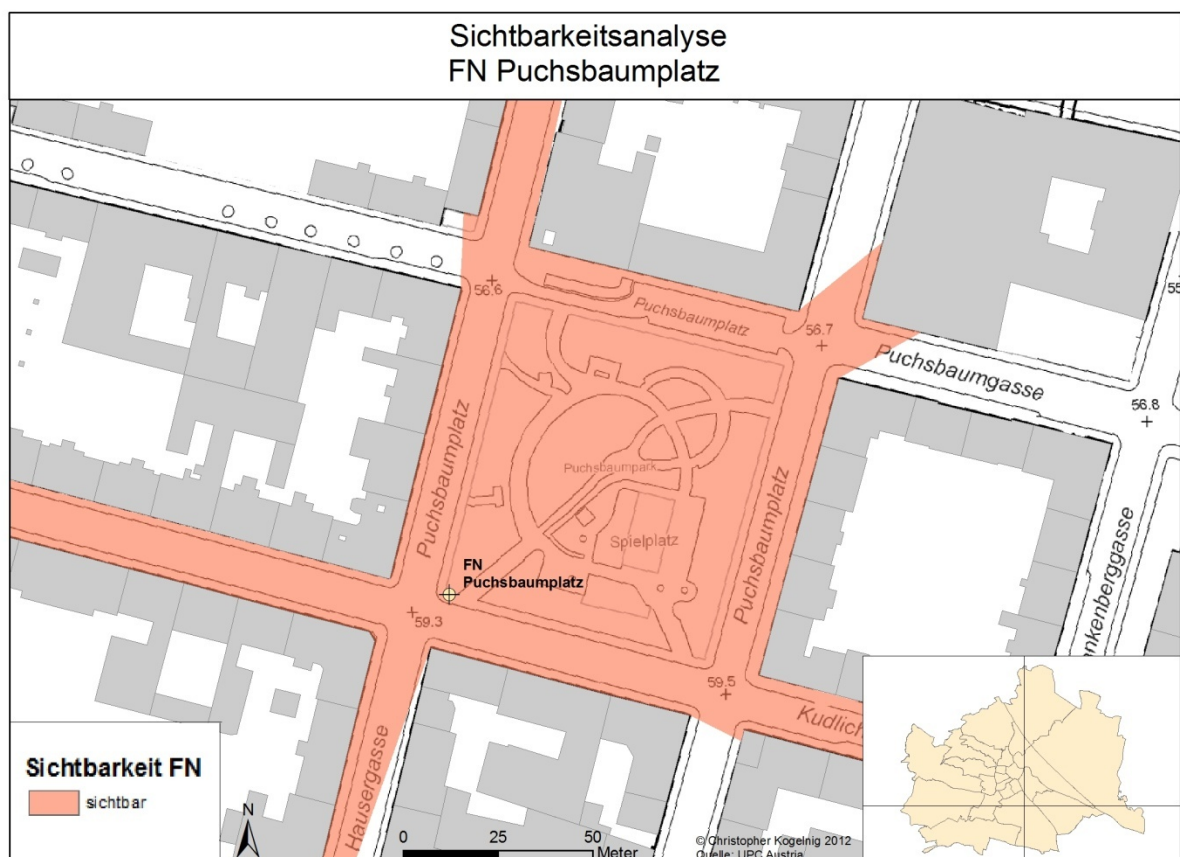


Abb. 32: Sichtbarkeitsanalyse am Beispiel FN Puchsbäumplatz (eigene Grafik)

Befinden sich Messpunkte außerhalb des Sichtbarkeitsbereiches, werden diese mit einer zusätzlichen Dämpfung (+ 5 dB) versehen.

Parameter III – Die Vegetation

Der dritte Parameter soll den Einfluss der Vegetation auf das Strahlungsverhalten in vereinfachter Weise darstellen. Dass die Umsetzung dieser Variable sehr schwierig und kaum zu erfassen ist, wurde bereits erläutert. Um aber trotzdem einen solchen Einfluss sichtbar zu machen, wird auf Basis des Orthophotos und der Erhebung vor Ort die Vegetation als eigener Datenlayer digitalisiert. Auch hier werden die Messpunkte, welche sich im Einflussbereich der Vegetation befinden, mit einer zusätzlichen Dämpfung versehen (+ 3 dB) (Abb.33).

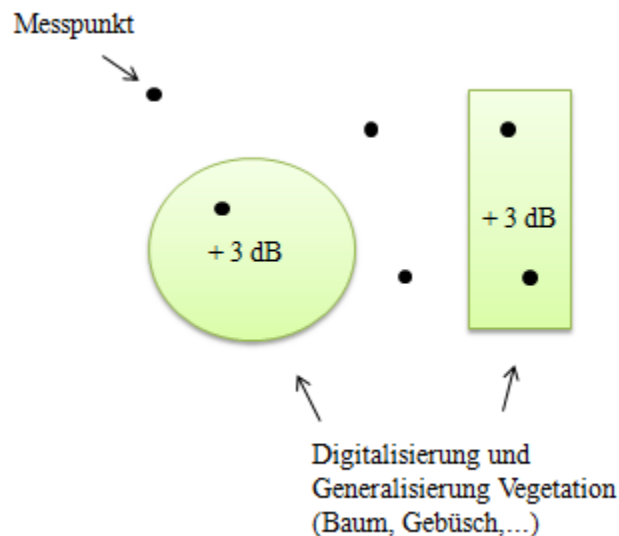


Abb. 33: Beispiel Digitalisierungen und Generalisierung der Vegetation für Parameter III (eigene Grafik)

Der gesamte Prozess der Dämpfungsberechnung mittels GIS wird noch einmal in Abb.34 zusammengefasst. Die Berechnung und Modellierung erfolgen für alle vier UG. Zudem wird das Modell als Möglichkeit zur Vorhersage des Signalverhaltens für ein zusätzliches Gebiet, in dem noch kein AP verfügbar ist, angewendet.

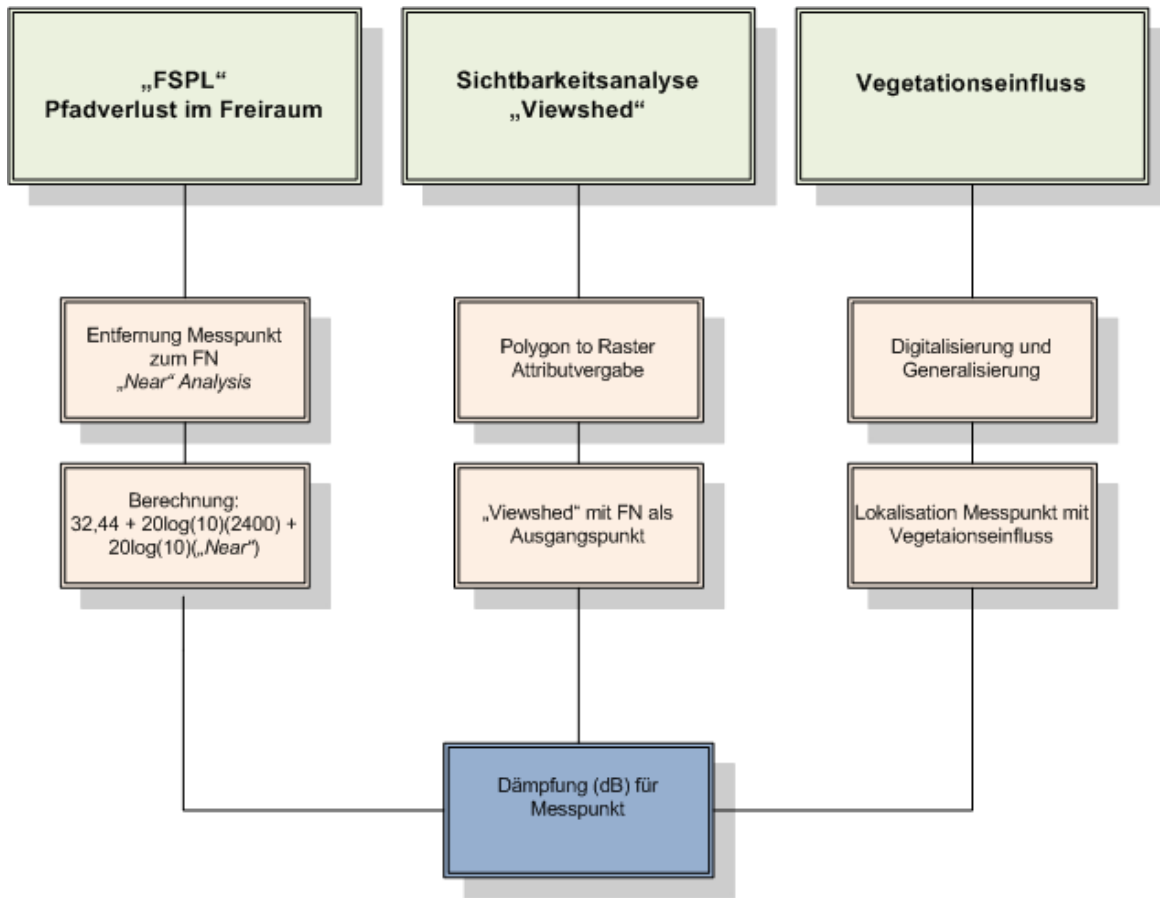


Abb. 34: Dämpfungsmodellierung mittels GIS (eigene Grafik)

5.2 Visualisierung der Signalstärke und Dämpfung

5.2.1 Interpolation in ArcGIS

Als Interpolationsmethoden werden, wie eingangs bereits erwähnt, die Verfahren IDW und Kriging herangezogen. Dies gilt sowohl für die erfasste Signalstärke als auch für die Dämpfungswerte der Messpunkte. Um einen Vergleich der Visualisierung zwischen der Signalstärke und der berechneten Dämpfung zu erhalten, bleibt die räumliche Position der Messpunkte bestehen. Innerhalb des Spatial Analyst besteht die Möglichkeit, mittels der bereits bekannten Parameter der Interpolationsmethoden das Ergebnis zu beeinflussen und dementsprechend zu verändern. In nachfolgenden Tabellen (Tab.7 und Tab.8) werden die ausgewählten Einstellungen der Parameter kurz zusammengefasst.

IDW – Inverse Distanzwichtung

Power (Gewichtung)	2
Suchradius	variabel / 12 Punkte / kein fixer Radius
Zellengröße	optional / abhängig von Messpunkten für UG
Visualisierungsoption	bilineare Interpolation
Rastervisualisierung	bipolare Farbskala

Tab. 7: Interpolationsparameter IDW

Kriging

Kriging - Methode	Ordinary Kriging
Suchradius	variabel / 12 Punkte / kein fixer Radius
Zellengröße	optional / abhängig von Messpunkten für UG
Visualisierungsoption	bilineare Interpolation
Rastervisualisierung	bipolare Farbskala

Tab. 8: Interpolationsparameter Kriging

Um die Realität möglichst gut abzubilden, wurde zudem das EZG des jeweiligen UG nach der Reichweite des Empfangs visualisiert. Das bedeutet, dass nur dort interpoliert wurde, wo auch Empfang besteht. Die Empfangsreichweite ist in allen UG unterschiedlich. Dies ist sowohl auf die vorherrschenden Verhältnisse als auch auf die geographischen Gegebenheiten vor Ort zurückzuführen. Als bereits bekannte Barriere, welche auch den Einflussfaktor der Sichtbarkeitsanalyse darstellt, wirken für die Visualisierung die Gebäude. Die Ergebnisse gliedern sich für alle 4 UG in folgende Bereiche:

- Darstellung der Erfassungspunkte
- Auflistung aller RSSI-Werte und der berechneten Dämpfung

- Interpolation der RSSI mittels IDW
- Interpolation der RSSI mittels Kriging
- Interpolation der Dämpfung mittels IDW
- Interpolation der Dämpfung mittels Kriging

5.2.2 FN Puchsbaumplatz

Der FN am Puchsbaumplatz im 10. Wiener Gemeindebezirk liegt nahe an einem Park. Der installierte WLAN-Router an diesem FN wird durch von einfachen Kasten aus Plastik umschlossen. Der Einfluss von Metall- und Plastikkästen auf die Ausbreitung wird in den UG noch deutlich zu sehen sein. Abb.35 zeigt nun alle erfassten Datenpunkte innerhalb des verfügbaren WLAN-Netzwerkes.

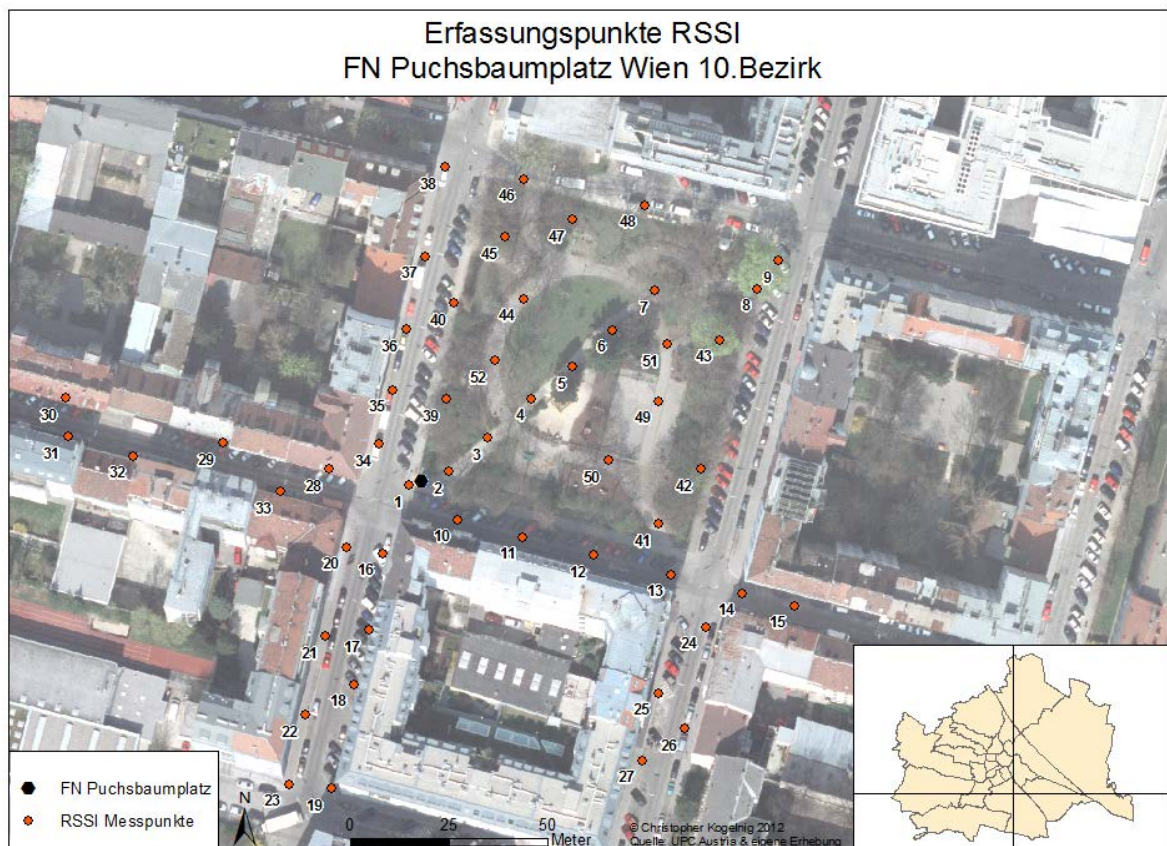


Abb. 35: Erfassungspunkte RSSI FN Puchsbaumplatz

In allen UG herrschten bei der Datenerfassung ähnliche Witterungsverhältnisse (klare Verhältnisse, kein Niederschlag). Da die Erhebung im Frühjahr durchgeführt wurde, waren zudem keine zusätzlichen Einflussfaktoren wie Schnee oder nasse Vegetation vorhanden. Die in nachfolgender Tab.9 aufgelisteten Daten beziehen sich auf die beistehenden Nummern der RSSI Messpunkte auf der Karte.

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in db)
1	-25		x	50,48
2	-28		x	57,54
3	-40		x	66,18
4	-45		x	70,78
5	-55		x	73,48
6	-65		x	75,75
7	-70	x	x	77,73
8	-90	x	x	79,89
9	-96	x	x	80,59
10	-45		x	62,60
11	-55		x	69,37
12	-70		x	73,61
13	-80		x	76,65
14	-90		x	78,75
15	-96		x	80,01
16	-50		x	66,34
17	-70			72,17
18	-80			76,34
19	-96			78,26
20	-45		x	68,02
21	-53		x	73,29
22	-70		x	75,93
23	-80			78,27
24	-87			78,21
25	-93			78,16
26	-96			79,29
27	-96			79,15
28	-47		x	69,70
29	-50			74,24
30	-86			79,37
31	-87		x	79,15
32	-70		x	77,34
33	-50		x	69,24
34	-50		x	63,13

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in db)
35	-70		x	67,79
36	-80		x	71,81
37	-90		x	75,18
38	-95		x	77,47
39	-77	x	x	66,88
40	-83		x	71,70
41	-90		x	75,78
42	-93	x	x	77,05
43	-96	x	x	78,51
44	-79		x	74,55
45	-90	x	x	76,39
46	-94		x	78,21
47	-96		x	77,75
48	-96		x	79,14
49	-79		x	76,12
50	-75		x	73,62
51	-85		x	77,11
52	-73		x	71,17

Tab. 9: Messpunkteigenschaften FN Puchsbaumplatz

Die maximale Ausbreitung des WLAN-Netzwerkes beträgt hier ca. 110 Meter. Im Vergleich zu den anderen UG ist dies ein deutlich höherer Wert, welcher allerdings durch die Sichtverbindung, die vegetationslosen Parkwege und den Plastikkasten gefördert wird. Der FN deckt mit dieser guten räumlichen Position ein ziemlich großes EZG ab. Die Signalstärke fällt allerdings schon mit geringerer Entfernung zum FN rapide ab. So beträgt der Durchschnittswert ca. - 85 dBm. Mit diesem Wert ist trotz einer Einbuße an der Datenübertragungsrate ohne Weiteres eine problemlose Kommunikation möglich.

Für die genauere Betrachtung werden bei den Visualisierungen zusätzliche „besondere Ausprägungen“ explizit angesprochen. Diese Ausprägungen beziehen sich sowohl auf die vorherrschenden örtlichen Gegebenheiten als auch auf etwaige Unterschiede zwischen den Interpolationsverfahren und Visualisierungen.

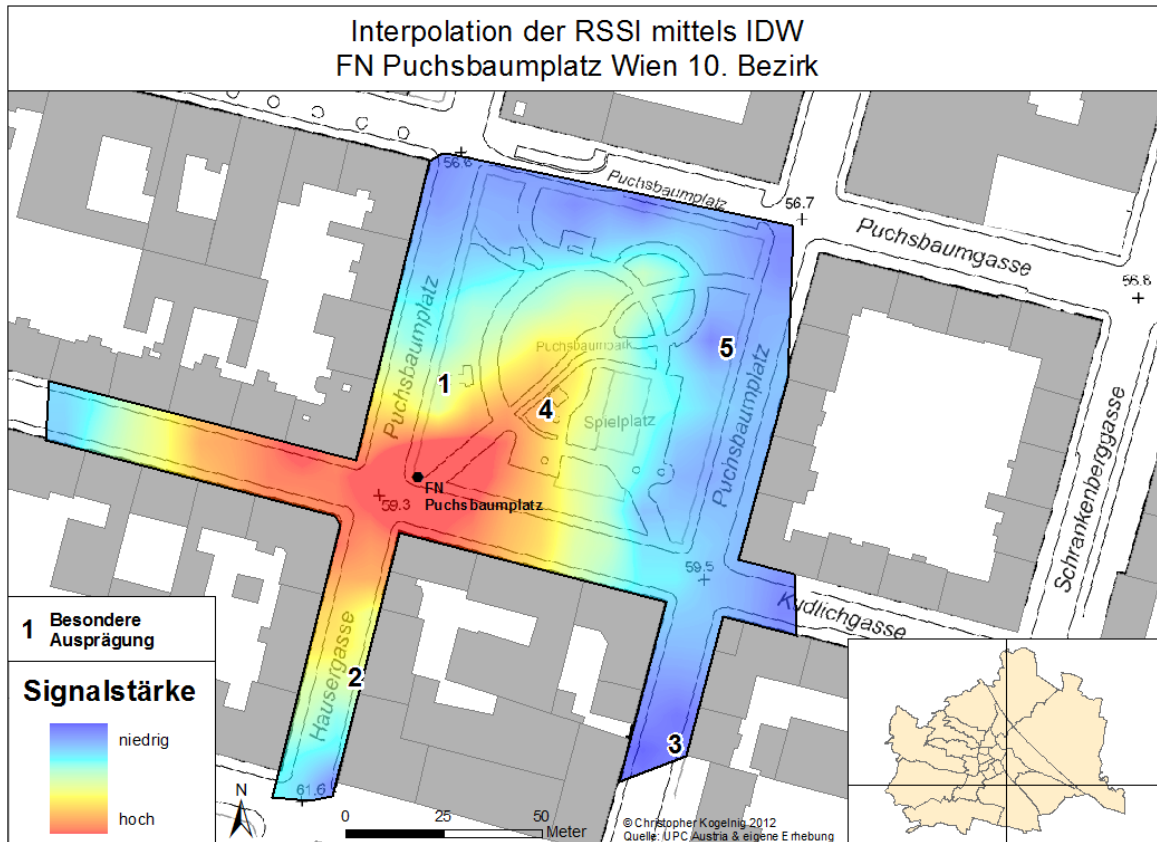


Abb. 36: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Puchsbaumplatz

Die in Abb.36 interpolierte RSSI mittels IDW zeigt die bereits erwähnte gute, weitläufige Ausbreitung. Ausgehend vom FN setzt sich das Signal vor allem entlang des Parkweges sehr gut fort (Ausprägung Nr. 4). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass hier keine großen Einflussfaktoren vorhanden sind und die Messungen ohne Störeinflüsse durchgeführt werden konnten. Betrachtet man nun die besonderen Ausprägungen, wird schnell klar, dass vor allem die Vegetation großen Einfluss auf das Signalverhalten besitzt. Ausprägungen Nr.5 und Nr.1 zeigen dies als Beispiel sehr deutlich. Da IDW nur rein nach der Distanz interpoliert, werden die Messungen hier exakt wiedergegeben. Wie bei Ausprägung Nr.5 zu sehen ist, wurde an dieser Position innerhalb der Vegetation gemessen. IDW nimmt an, dass nur in der unmittelbaren Umgebung die Signalstärke schwächer wird. Ebenso verhält es sich bei Ausprägung Nr.1. Der Einfluss auf des Signal bei Nicht-Sichtverbindung wird durch Nr.2 und Nr.3 ganz klar ersichtlich.

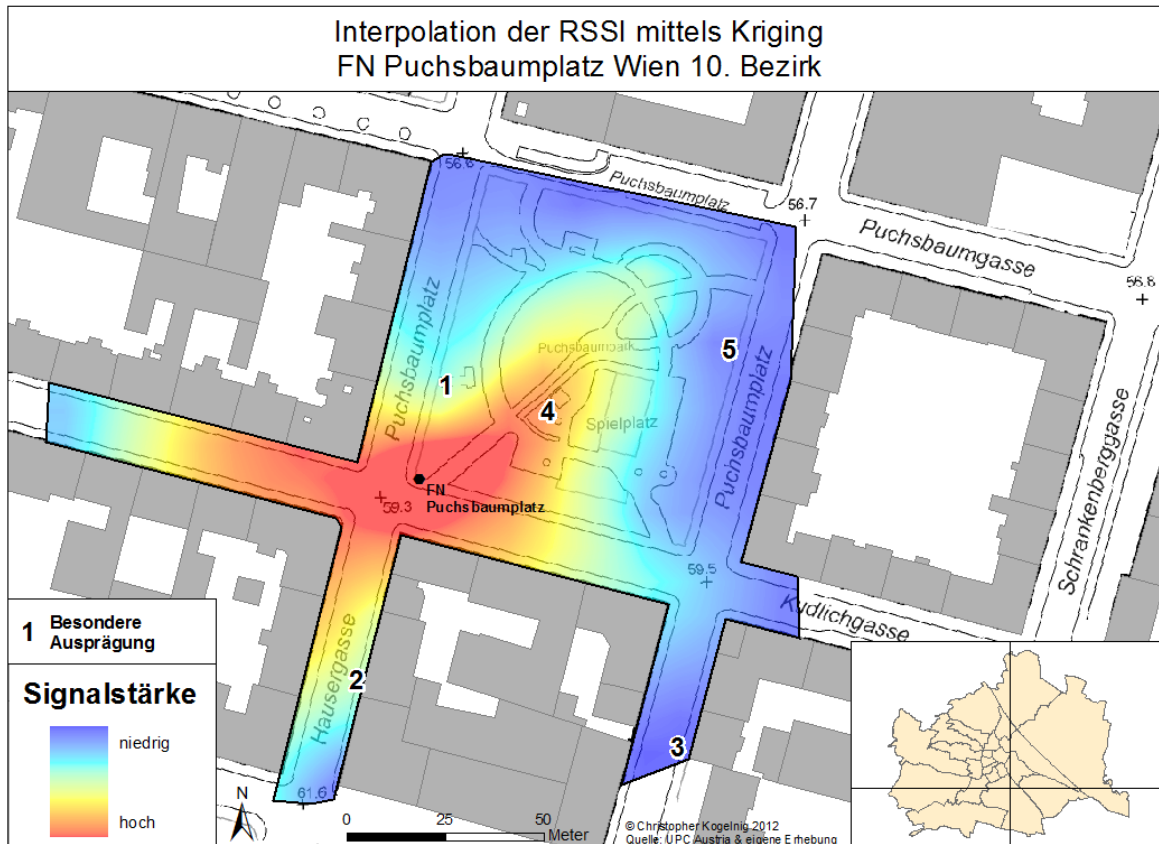


Abb. 37: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Puchsbaumplatz

Die Interpolation mittels Kriging zeigt ein generalisierteres Abbild der Signalstärke (Abb.37). Der Einfluss der Vegetation auf die Signalstärke kommt hier auf Grund der Einbeziehung des räumlichen Zusammenhanges der Messwerte besser zum Vorschein. Es ist anzunehmen, dass die Signalstärke auch nach der Messung bei Ausprägung Nr.5 auf Grund der vorherrschenden Vegetation schwächer wird. Ein weiterer wichtiger Faktor sind die Verkehrs- und Parkplatzbedingungen. Ein hoher RSSI-Wert wird ausgehend vom FN nur im Umkreis von ca. 20 Metern erreicht. Parkende Autos und andere Einflussfaktoren wie z.B. Baustellen führen zusätzlich zu einer rapiden Abnahme der Signalstärke.

Die Umsetzung des Modells basiert auf den bereits erhobenen Messpunkten. Die Positionen der RSSI-Messpunkte bleiben auch für die berechneten Dämpfungswerte bestehen. Aus Tab.9 war ersichtlich, dass sich 7 Messpunkte im Einflussbereich der Vegetation befinden. 10 Messpunkte haben keine direkte Sichtverbindung zum FN. Diese Einflussfaktoren machen sich auch in der Dämpfungsberechnung deutlich bemerkbar. Durch die Ermittlung des Pfadverlustes im Freiraum wird zuerst die Abnahme der Signalstärke mit wachsender Distanz visualisiert. Die berechnete Dämpfung nähert sich den gemessenen RSSI-Werten gut an. Die Ausbreitung des Signals entlang des Parkweges (Ausprägung Nr.4) spiegelt sich auch im Dämpfungsmodell wider. Auch die Sichtverbindung (Ausprägung Nr.2 und Nr.3) und Vegetation (Ausprägung Nr.5 und Nr.1) zeigen ihren Einfluss im Dämpfungsmodell (Abb.38).

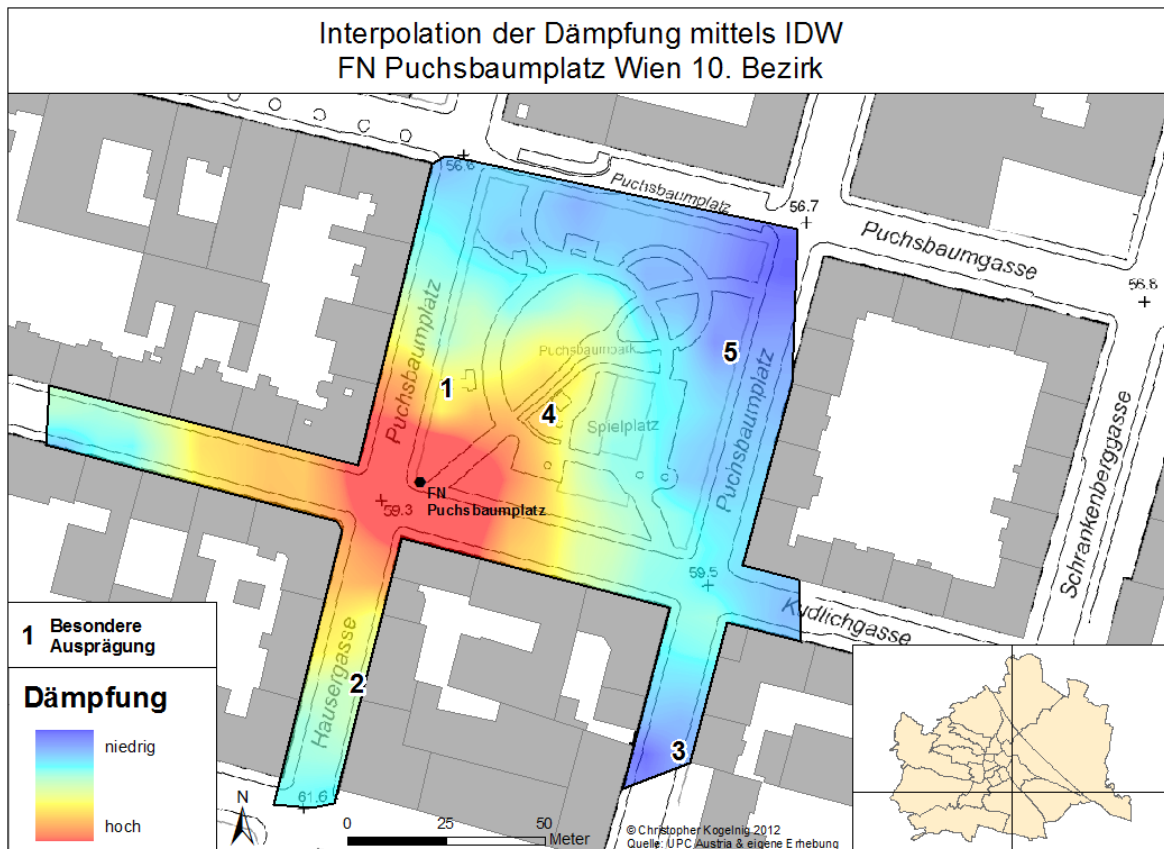


Abb. 38: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Puchsbaumplatz

Die Interpolation der Dämpfung via Kriging (Abb.39) vermittelt auch hier wieder einen anderen Eindruck des möglichen Signalverhaltens. Dies trifft vor allem auf die Vegetation zu (Ausprägung Nr.5 und Nr.1). Da der Pfadverlust im Freiraum rein nach der Distanz berechnet wird, kommt es beim Dämpfungsmodell zu einer eher gleichmäßigeren Ausbreitung des Signals, welche vor allem in der unmittelbaren Umgebung des FN zum Vorschein kommt. Die bereits angesprochene Problematik von parkenden Kraftfahrzeugen und anderen örtlichen Gegebenheiten kann hier nicht berücksichtigt werden.

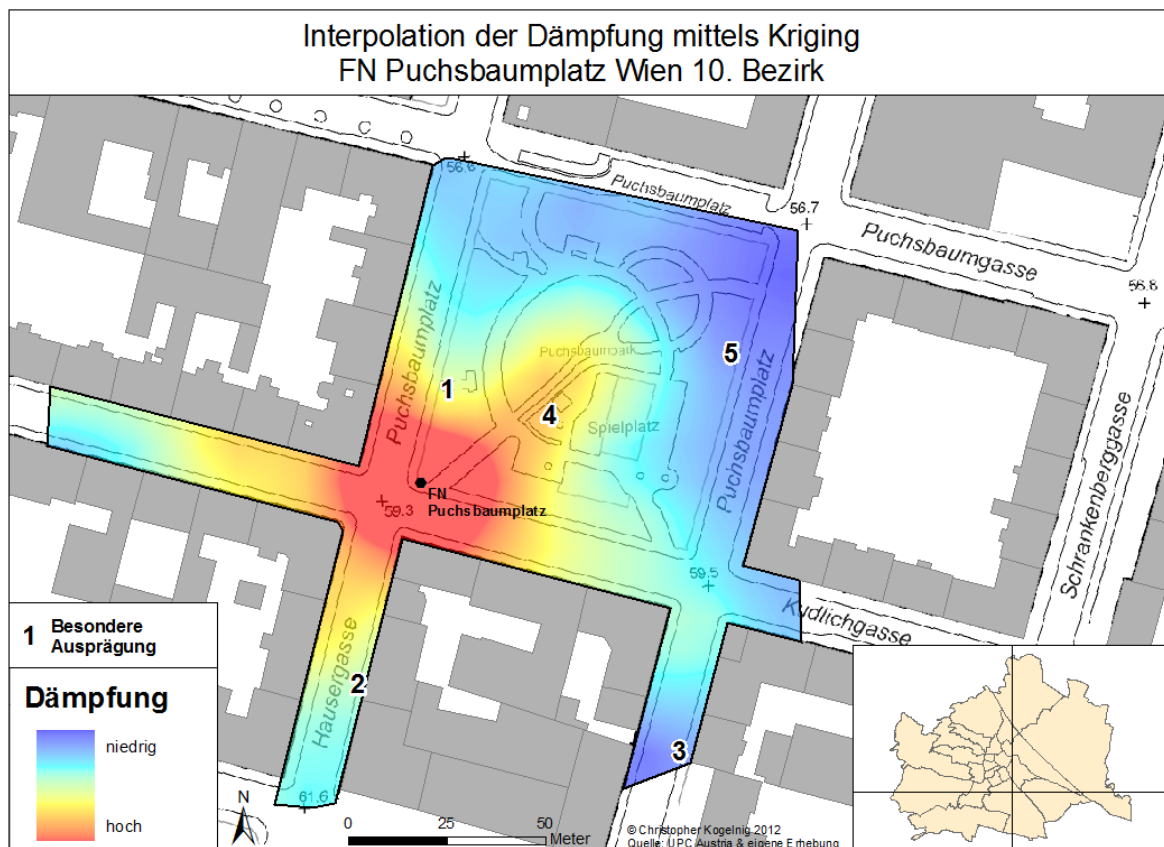


Abb. 39 Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Puchsbaumplatz

5.2.3 FN Paltramplatz

Der FN am Paltramplatz liegt ebenfalls nahe an einem Park (Abb.40). Allerdings wird hier der FN von einem Metallkasten umschlossen. Dies wirkt sich dementsprechend auf die Ausbreitung und die Reichweite aus.

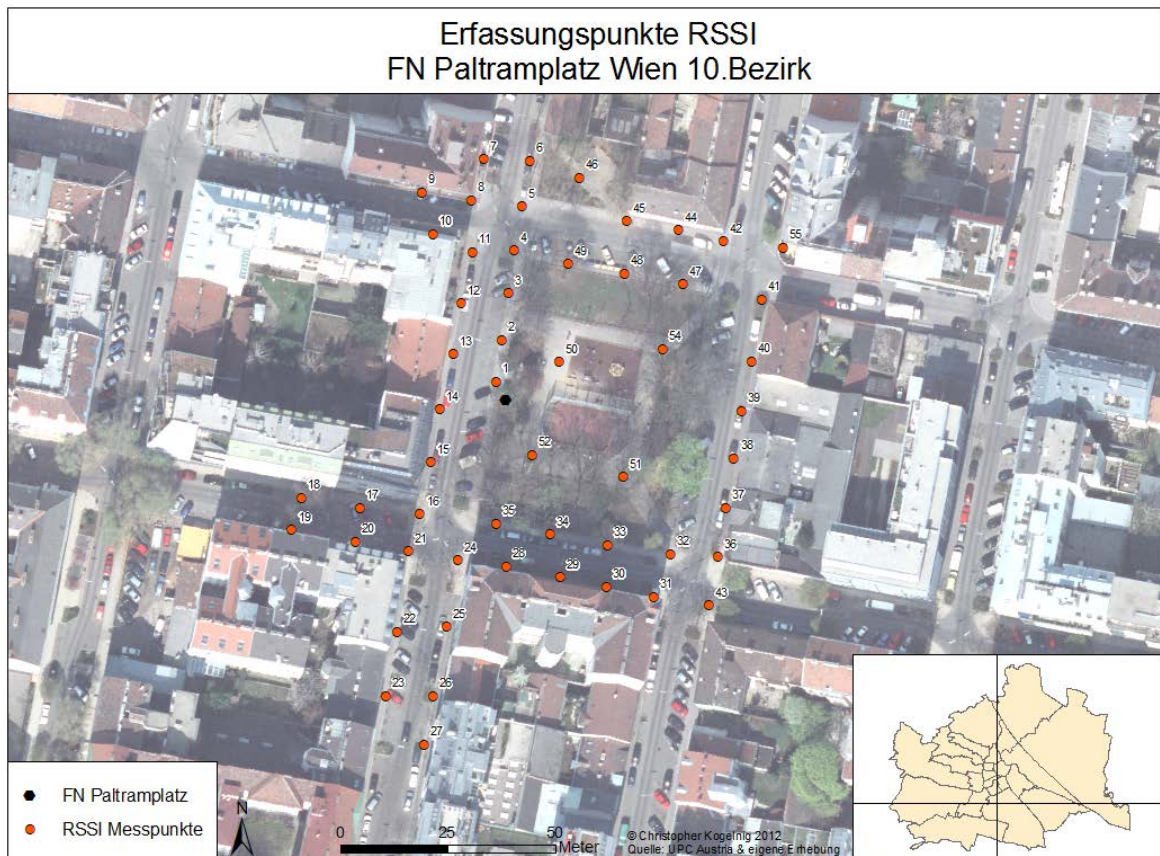


Abb. 40: Erfassungspunkte RSSI FN Paltramplatz

Die Messungen in diesem Gebiet wurden durch reges Verkehrsaufkommen und Umbauarbeiten innerhalb des Parks stark beeinträchtigt. Zusammen mit der zusätzlichen Signaldämpfung durch den Metallkasten beträgt die maximale Ausbreitung des WLAN-Netzwerkes nur 82 Meter (Tab.10).

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in db)
1	-49		x	53,67
2	-62		x	62,96
3	-70		x	67,92
4	-84		x	70,87
5	-88		x	73,12
6	-94		x	74,98
7	-92		x	75,04
8	-89			73,50
9	-93			79,38
10	-93			77,52
11	-86		x	70,97
12	-83	x	x	67,93
13	-74		x	64,29
14	-79		x	63,94
15	-82	x	x	67,21
16	-84		x	70,50
17	-92			77,57
18	-94			79,52
19	-92			80,38
20	-90			78,70
21	-86		x	72,51
22	-90		x	75,57
23	-94		x	77,48
24	-81		x	71,87
25	-88			79,78
26	-92			82,08
27	-94			83,37
28	-97		x	71,82
29	-90		x	72,74
30	-92		x	73,91
31	-95		x	75,20
32	-91		x	74,46
33	-87		x	72,35
34	-88		x	70,40
35	-89		x	69,26
36	-93		x	75,82
37	-94		x	75,18
38	-95		x	74,83
39	-93		x	74,83
40	-93		x	75,29
41	-95		x	76,15
42	-95		x	75,98
43	-95		x	76,60

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in dB)
44	-94		x	75,04
45	-93		x	74,05
46	-95		x	74,75
47	-91		x	73,88
48	-90		x	72,13
49	-87		x	70,87
50	-73		x	63,66
51	-85		x	70,35
52	-79		x	63,06
53	-84		x	71,71
54	-96		x	77,38

Tab. 10: Messpunkteigenschaften FN Paltramplatz

Auch in diesem WLAN-Netzwerk fällt die RSSI innerhalb von wenigen Metern rapide ab. Obwohl Messung 1 direkt über dem FN durchgeführt wurde, ist der Maximalwert mit -49 dBm sehr gering. Eine gute Empfangssignalstärke kann nur in unmittelbarer Umgebung erreicht werden. Der Durchschnittswert steigt hier bereits auf über -90 dBm. Zwar ist mit dieser Leistung noch eine Kommunikation möglich, allerdings können bereits geringe Einflussfaktoren das Signal unterbrechen und die Verbindung trennen.

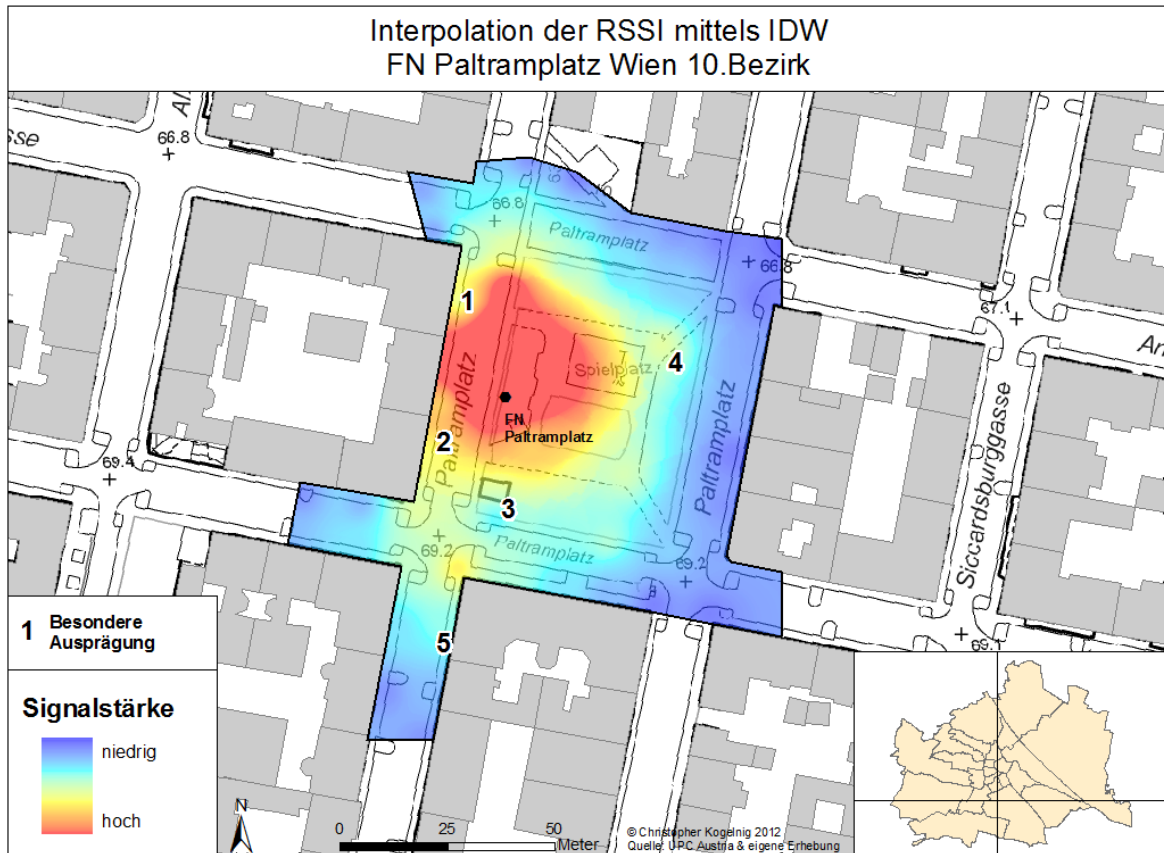


Abb. 41: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Paltramplatz

In obenstehender Karte (Abb.41) ist wieder die gleichförmige Ausbreitung des Signals ausgehend vom FN gut zu erkennen. Die besonderen Ausprägungen bei Nr.1 und Nr.2 heben den Signalverlust durch die parkenden Kraftfahrzeuge und die Vegetation stark hervor. Diese Einbuchtungen verdeutlichen auch, dass die Erfassung der Signalstärke nur eine Momentaufnahme darstellt und nicht als exakt angesehen werden kann.

Betrachtet man die erfasste RSSI bei Ausprägung Nr.3, wird klar, dass die Signalstärke an dieser Position durch ein Gebäude stark beeinträchtigt wird. Auch die Sichtverbindung stellt innerhalb dieses WLAN-Netzwerkes einen einflussreichen Faktor dar.

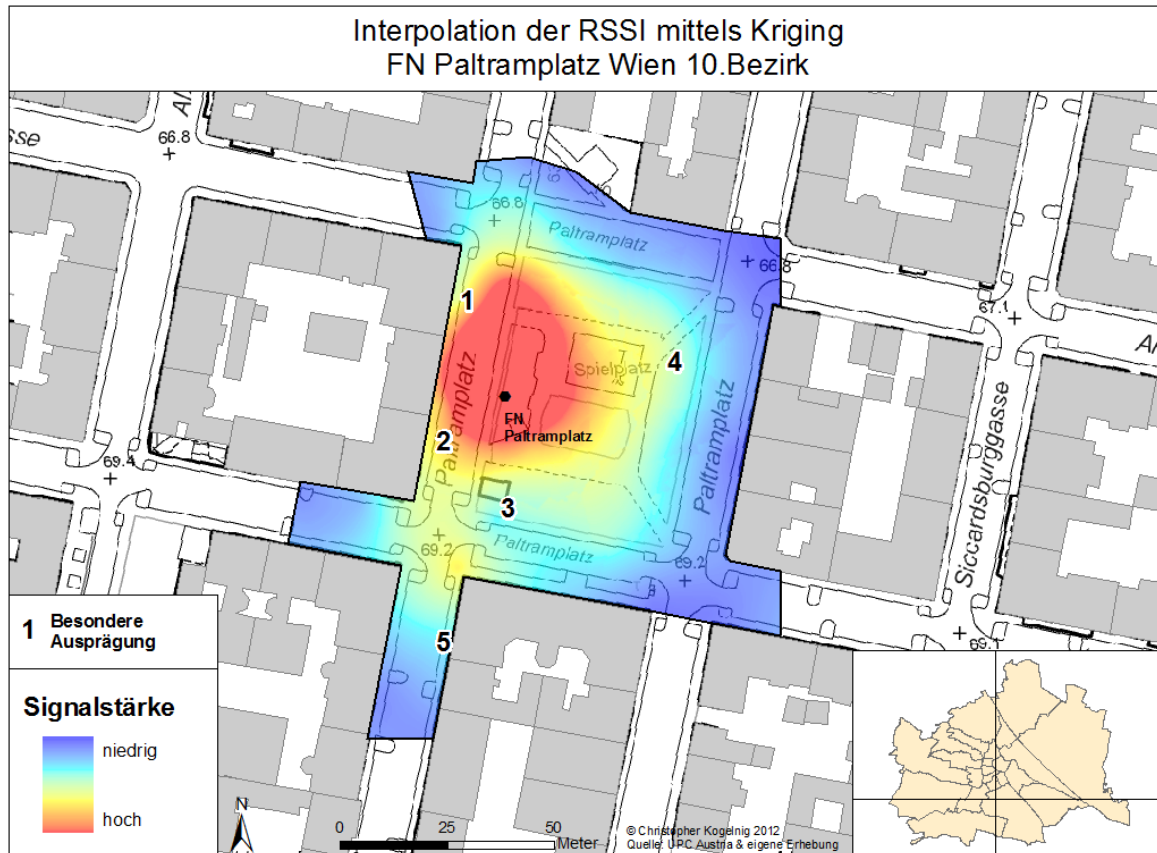


Abb. 42: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Paltramplatz

Mittels Kriging (Abb.42) erscheint die Signalausbreitung im Umkreis von ca. 20 Metern des FN deutlich einheitlicher. Auch wird durch den Einbruch der Signalstärke bei Ausprägung Nr.3 klar gezeigt, dass die erwartete Signalstärke weiterhin schwächer werden muss. Ein relativ guter Signalempfang ist hier grundsätzlich innerhalb des kompletten Parks gegeben. Im Zuge der Messungen in diesem UG wurde beobachtet, dass die Vegetation den wohl größten Einflussfaktor auf das Signalverhalten darstellen kann. Durch die räumliche Visualisierung lässt sich nun feststellen, dass eine gewisse Vegetationsbarriere das Signal nach der Parkgrenze intensiv abschwächt.

Im angewandten Dämpfungsmodell für dieses UG beträgt die maximale Dämpfung ca. 83 dB (Abb.43). Dieser Wert ist vor allem auf die zusätzliche Dämpfung durch die Nicht-Sichtverbindung zurückzuführen (Ausprägung Nr. 5). Da die Messpunkte im restlichen UG kaum von Vegetation oder Sichtbehinderungen betroffen sind, erscheint die Dämpfung im übrigen WLAN-Netzwerk als gar nicht so schlecht. Allerdings bedeutet eine niedrigere Dämpfung nicht automatisch ein gutes Signal. Auch bei den RSSI-Messungen wurde festgestellt, dass die WLAN-Verbindung trotz einer oft relativ guten Signalstärke abrupt abbrechen kann.

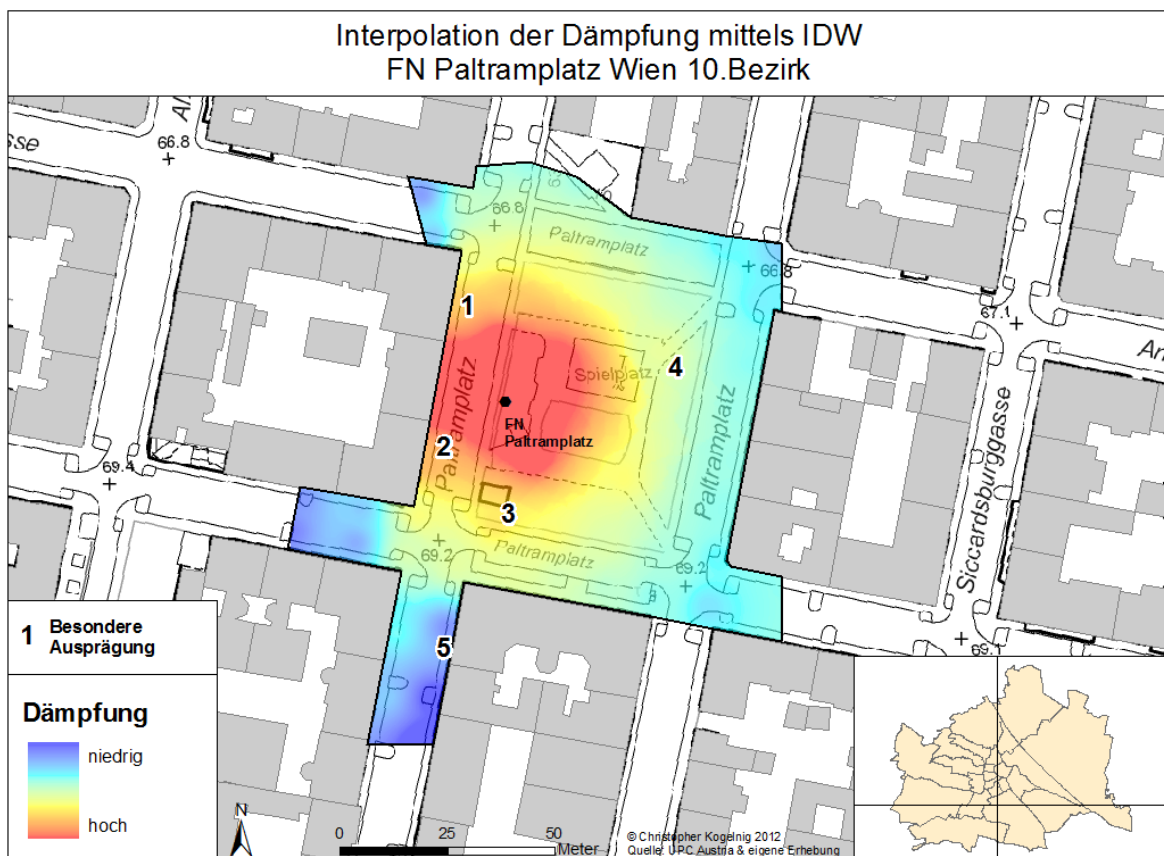


Abb. 43 Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Paltramplatz

Die Interpolation mittels Kriging (Abb.44) spiegelt für das gesamte EZG ein fast gleichmäßiges Ausbreitungsverhalten wider. Dies ist vor allem auf die Berechnung des Pfadverlustes im Freiraum und der in manchen Bereichen oft gleichmäßig verteilten Erhebungspunkte zurückzuführen. Darüber hinaus wird die fast symmetrische Ausbreitung nur durch eine geringe Anzahl an Messpunkten mit Vegetationseinfluss unterstützt.

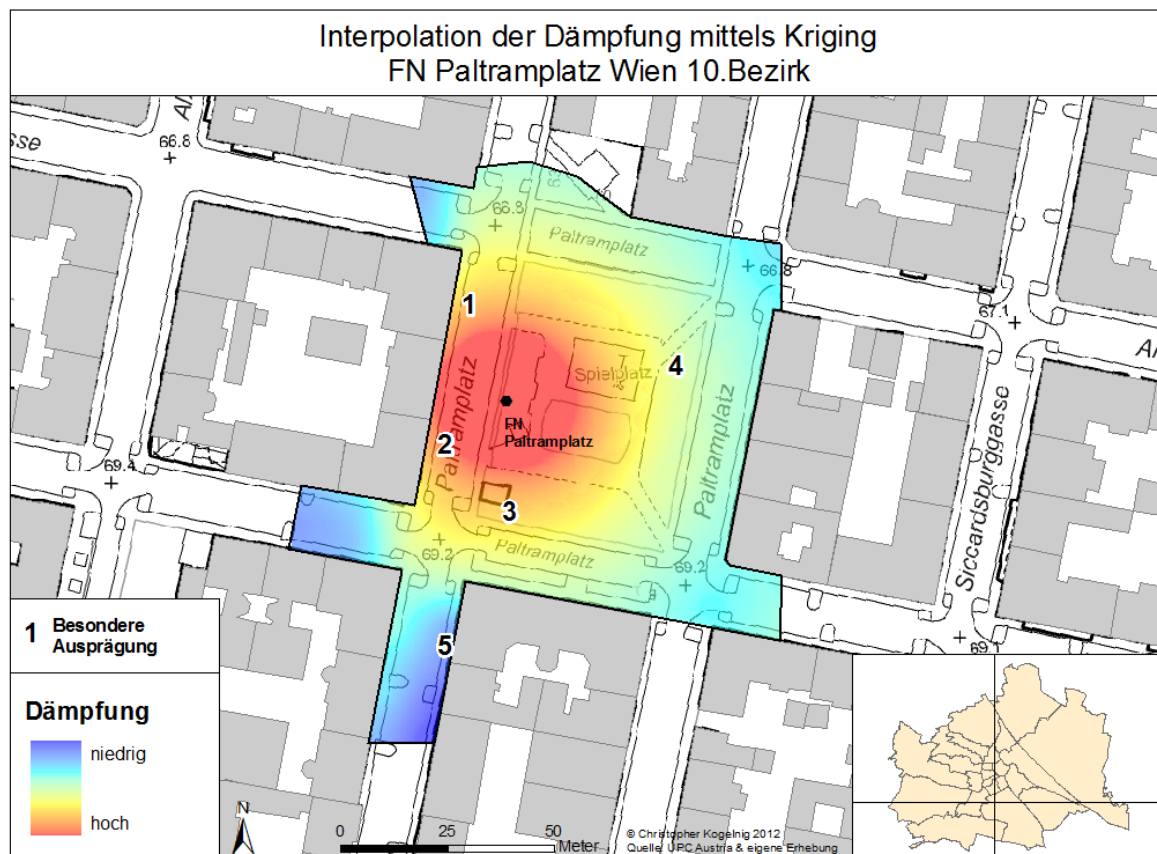


Abb. 44: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Paltramplatz

5.2.4 FN Wolfganggasse

Das dritte UG liegt im 12. Wiener Gemeindebezirk. Der FN in der Wolfganggasse wird in diesem Fall wieder von einem Plastikkasten umschlossen. Die Erfassung der RSSI konnte hier wieder in durchaus regelmäßigen Abständen aufgezeichnet werden (Abb.45). Der maximale RSSI-Wert betrug in unmittelbarer Nähe zum FN auf Grund des Plastikkastens wie in UG 1, wieder sehr gute -29 dBm, was bedeutet dass eine größere Reichweite ermöglicht wird.

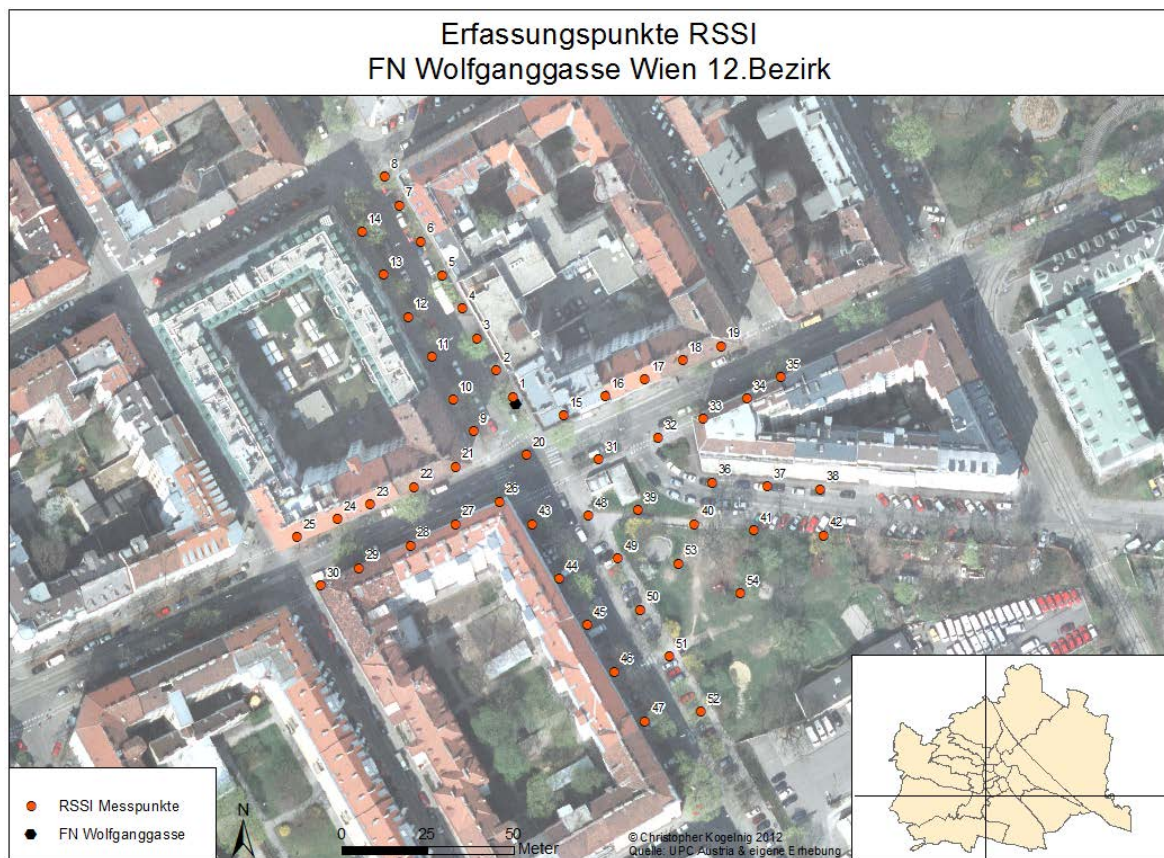


Abb. 45: Erfassungspunkte RSSI FN Wolfganggasse

Tab.11 verweist nun auf die 54 Messpunkte innerhalb des WLAN-Netzwerkes. Besonderes Augenmerk muss in diesem UG auf die Sichtverbindung gelegt werden. Die Vegetation spielt hier eine eher untergeordnete Rolle. Ca. 40% aller RSSI-Messpunkte haben keine direkte Sichtverbindung mit dem FN und beeinflussen damit auch stark die Berechnungen im Dämpfungsmodell.

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in db)
1	-29		x	48,90
2	-71		x	61,10
3	-74		x	66,94
4	-83		x	70,10
5	-86		x	72,73
6	-89		x	74,80
7	-92	x	x	79,54
8	-94		x	77,67
9	-76		x	63,26
10	-77		x	65,21
11	-81		x	69,01
12	-86		x	72,10
13	-90		x	74,65
14	-94	x	x	79,56
15	-77			68,12
16	-81			73,36
17	-86			76,67
18	-90			79,03
19	-94			80,88
20	-71		x	63,61
21	-77		x	73,09
22	-81			76,67
23	-84			79,72
24	-90			81,51
25	-94		x	77,45
26	-74		x	69,18
27	-80		x	71,86
28	-82		x	74,23
29	-90		x	76,41
30	-93			82,82
31	-75		x	69,29
32	-83			82,59
33	-86			79,78
34	-90			81,56
35	-94			82,79
36	-90			80,78
37	-94			82,75
38	-96			84,27
39	-85	x		81,47
40	-92			80,95
41	-94	x	x	85,89
42	-96		x	79,77
43	-75		x	70,95

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in dB)
44	-83		x	74,39
45	-87		x	76,60
46	-92		x	78,34
47	-96		x	79,97
48	-73		x	71,79
49	-80		x	74,64
50	-85		x	76,90
51	-90		x	78,70
52	-94		x	80,39
53	-93			81,43
54	-96	x		86,65

Tab. 11: Messpunkteigenschaften FN Wolfganggasse

Die maximale Reichweite des WLAN-Netzwerkes beträgt ca. 110 Meter. Da sich mitten im UG zwei kleine Gebäude befinden (Ausprägung Nr.1), werden das Signal und dadurch auch die Signalstärke und Dämpfung im Modell dementsprechend beeinflusst (Abb.46).

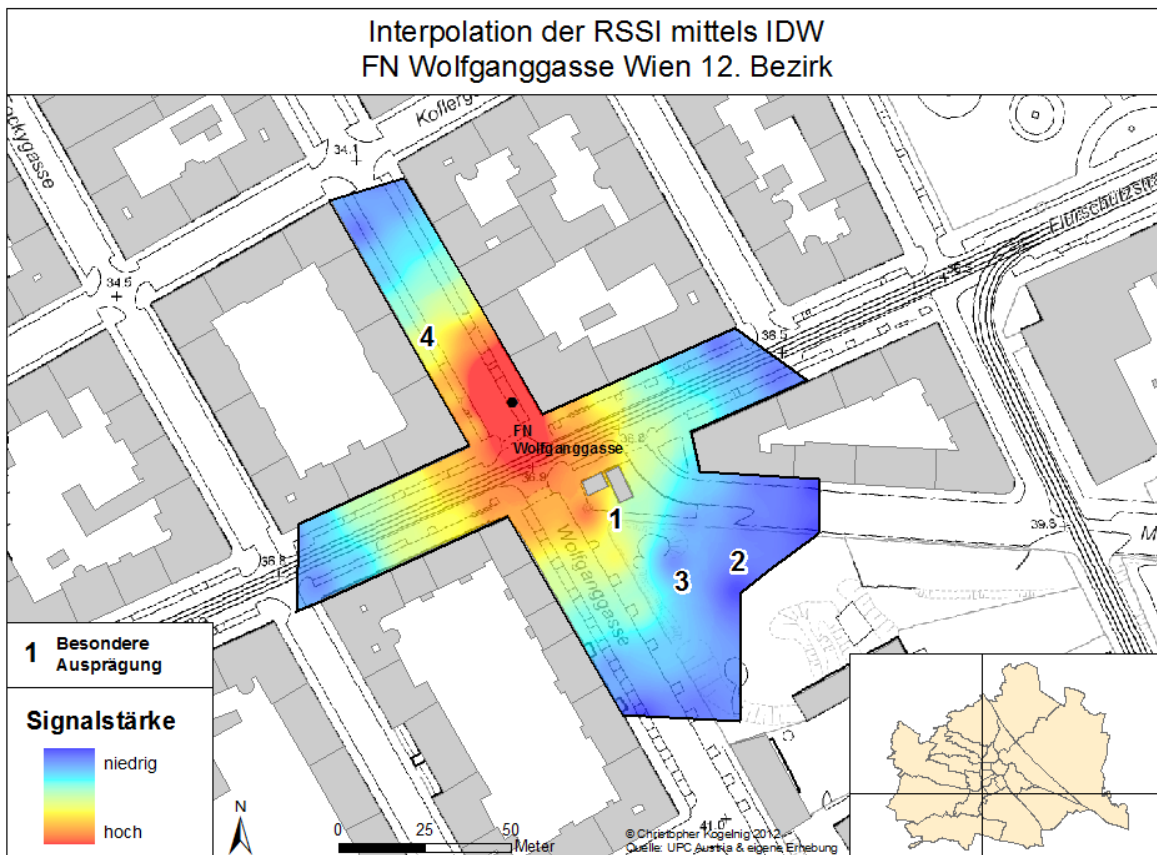


Abb. 46: Interpolation der RSSI mittels IDW FN Wolfganggasse

Die Vegetation (Ausprägung Nr.2 und Nr.3) präsentiert sich mittels Kriging wieder räumlich dichter. Ein Blick auf das vorhin dargestellte Orthofoto (Abb.47) bestätigt dieses Ergebnis. Die Messungen auf der gegenüberliegenden Straßenseite des FN (Ausprägung Nr.4) sind wieder ein deutliches Zeichen für den Einfluss von parkenden Kraftfahrzeugen. Das Signal wird dementsprechend gestört.

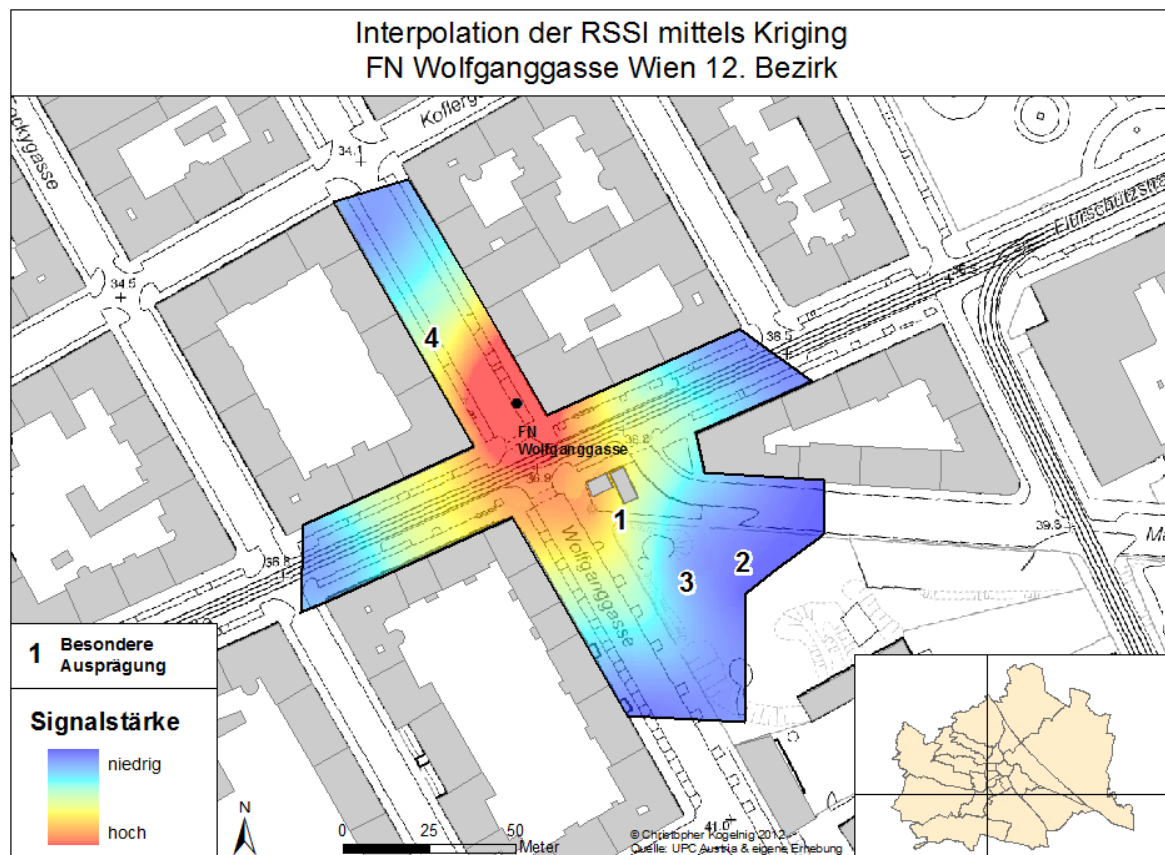


Abb. 47: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Wolfganggasse

Da lediglich 7 Messpunkte mit Vegetationseinfluss berechnet wurden, sind nur im Bereich der Ausprägungen Nr.3 und Nr.2 höhere Dämpfungen vorzufinden (Abb.48 und Abb.49). Dazu kommt auch eine zusätzliche Signaldämpfung durch den Parameter der LOS. Ein beachtlicher Teil der Messpunkte kann auf Grund der Gebäude mitten im UG keine direkte Sichtverbindung zum FN aufweisen.

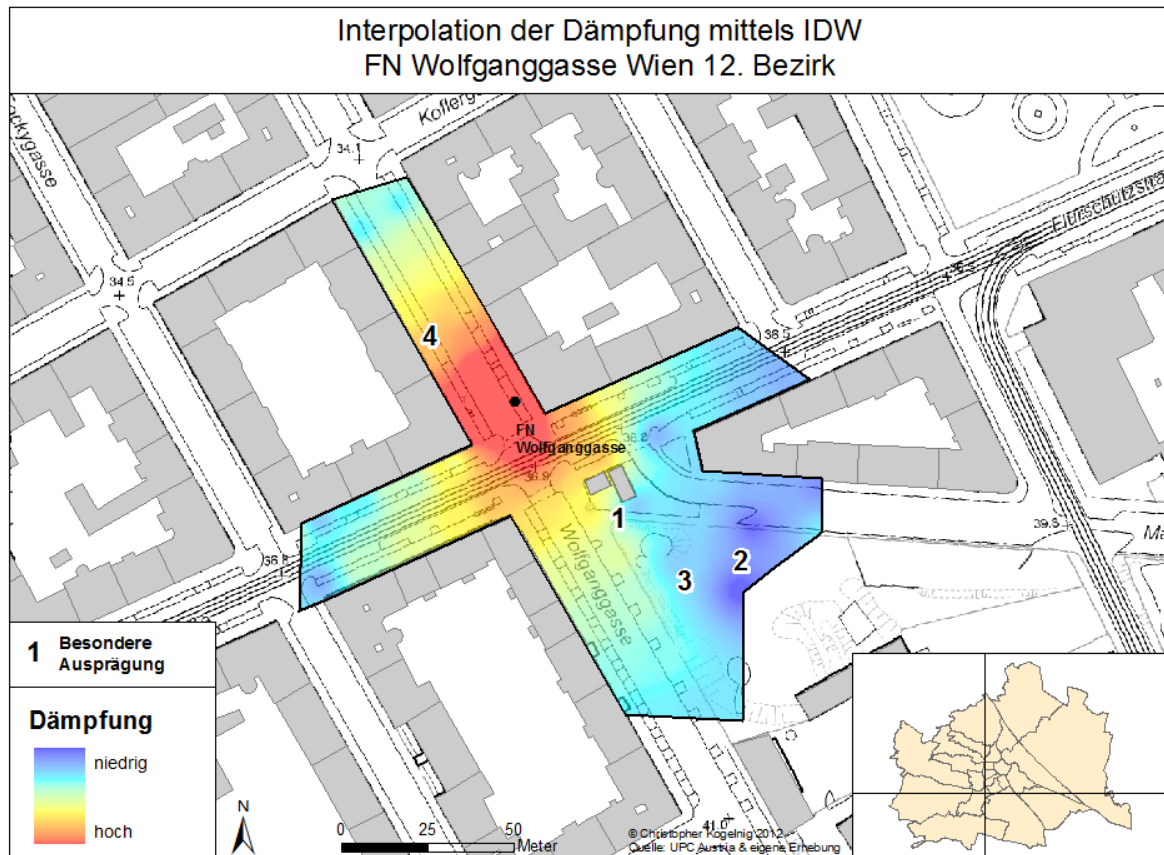


Abb. 48: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Wolfganggasse

Die berechnete Dämpfung von Messpunkt 54 ist mit 86,65 dB der größte Wert in allen UG (Ausprägung Nr.2). Dies ist vor allem auf die große Distanz sowie auf die nicht vorhandene Sichtverbindung zurückzuführen. Mit einem Abstand von 86 Metern zum FN und zusätzlichem Vegetationseinfluss ist dies auch im Vergleich zur RSSI-Messung der Höchstwert. - 96 dBm wurden an diesem Messpunkt aufgezeichnet. Dies ist zugleich auch der Maximalwert aller erfassten RSSI-Messungen in sämtlichen UG. Ein Signal unter - 96 dBm konnte in keinem Gebiet verzeichnet werden.

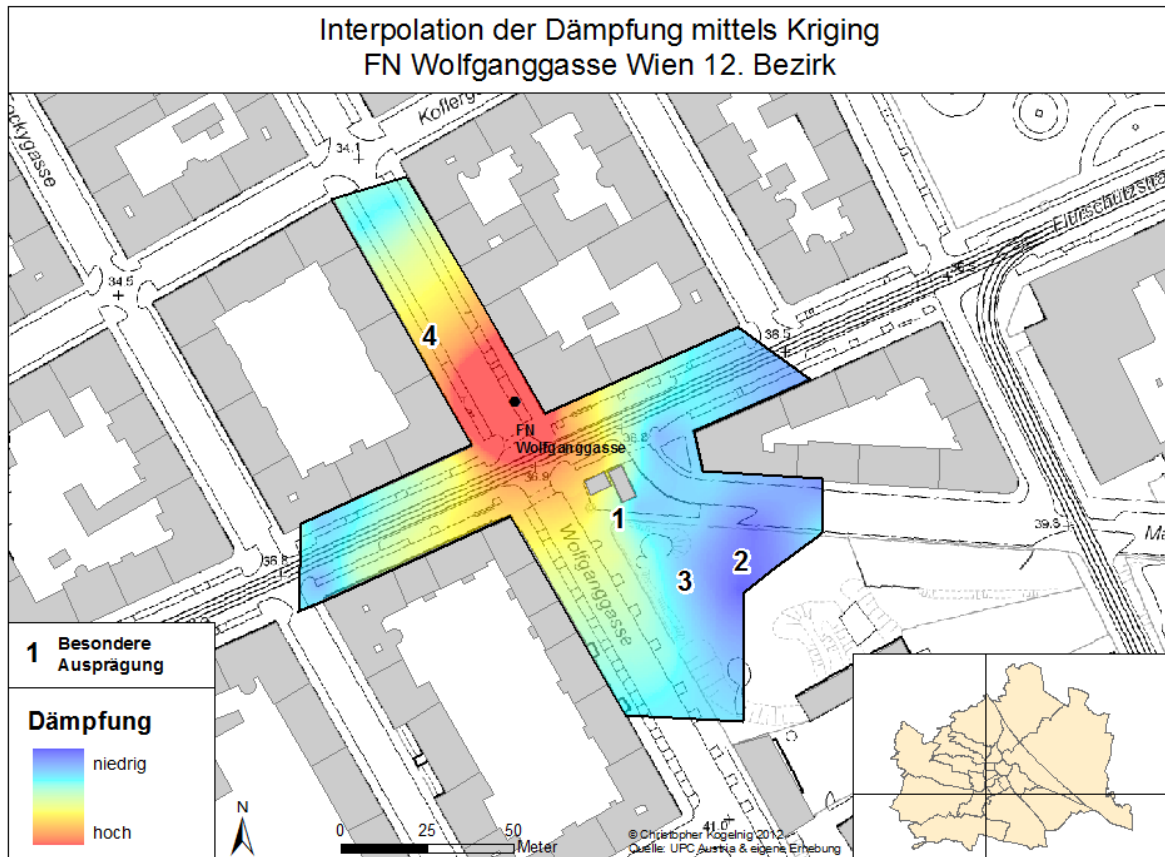


Abb. 49: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Wolfganggasse

5.2.5 FN Eschenallee

Das letzte UG befindet sich in der Nähe eines Gemeindebaus im 10. Wiener Gemeindebezirk. Die Reichweite dieses WLAN-Netzwerkes ist extrem kurz und beträgt in der maxialen Ausdehnung nur 89 Meter. Der Einfluss der Vegetation ist allerdings eher gering. Eine Ursache dieser schlechten Ausbreitung ist unter anderem wieder im vorhandenen Metallkasten, welcher den FN umschließt, zu finden.

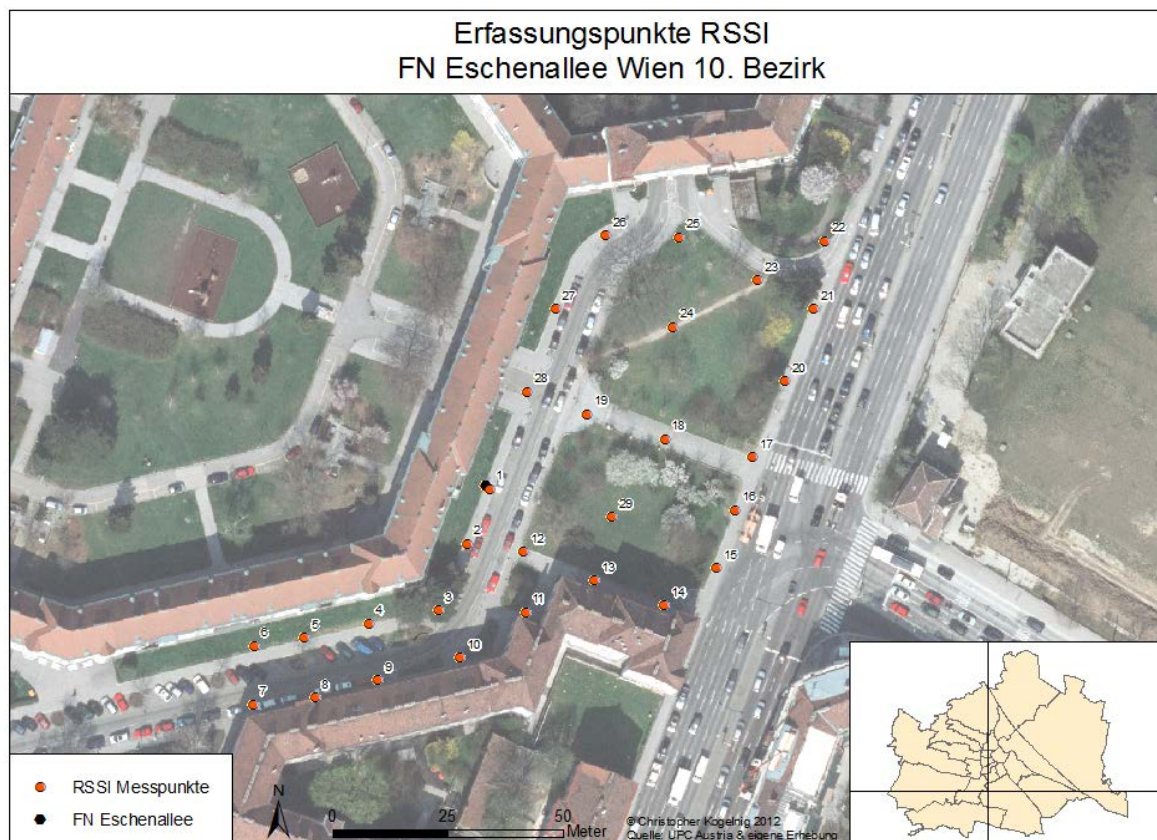


Abb. 50 Erfassungspunkte RSSI FN Eschenallee

Da die Funkzelle des WLAN-Netzwerkes sehr kleinräumig ist, wurden nur 29 Messpunkte erhoben (Tab.12). Nicht nachvollziehbar ist hier die Tatsache, dass die Verbindung ausgehend vom FN in Richtung Norden ohne starke Einflussfaktoren nach etwa 60 Metern abrupt abbricht. In den nachfolgenden Karten wird dies auch visuell bestätigt.

Messpunkt	RSSI (in dBm)	Vegetation	Sichtverbindung	Dämpfung (in db)
1	-38		x	41,40
2	-59		x	62,53
3	-74	x	x	72,30
4	-86		x	76,97
5	-92			79,28
6	-94			80,78
7	-94			81,88
8	-90			80,49
9	-84			73,75
10	-82		x	71,63
11	-86		x	69,26
12	-77		x	64,49
13	-88		x	70,01
14	-92		x	73,45
15	-94		x	77,57
16	-95	x	x	77,78
17	-92	x	x	75,38
18	-86		x	72,14
19	-79		x	68,63
20	-91		x	78,82
21	-94	x	x	81,21
22	-95	x	x	79,23
23	-88		x	77,44
24	-81		x	74,59
25	-94		x	76,74
26	-92		x	75,65
27	-79		x	72,35
28	-62		x	67,01
29	-80		x	72,06

Tab. 12: Messpunkteigenschaften FN Eschenallee

Neben der geringen Reichweite standen zudem nur wenige Messpunkte im Einflussbereich der Vegetation und der eingeschränkten Sicht. Die berechnete Dämpfung für das Modell wird dadurch dementsprechend geprägt.

Mittels IDW (Abb.51) werden die Messwerte bei der Interpolation oft lokal zu extrem abgebildet. Dies ist bei Ausprägung Nr.5 deutlich zu erkennen. Durch die Veränderung der Gewichtung (Power) lassen sich oft etwaige Abweichungen etwas eindämmen. Allerdings förderte eine Minimierung der Gewichtung in diesem Fall weitere unvorteilhafte Artefakte in der Visualisierung.

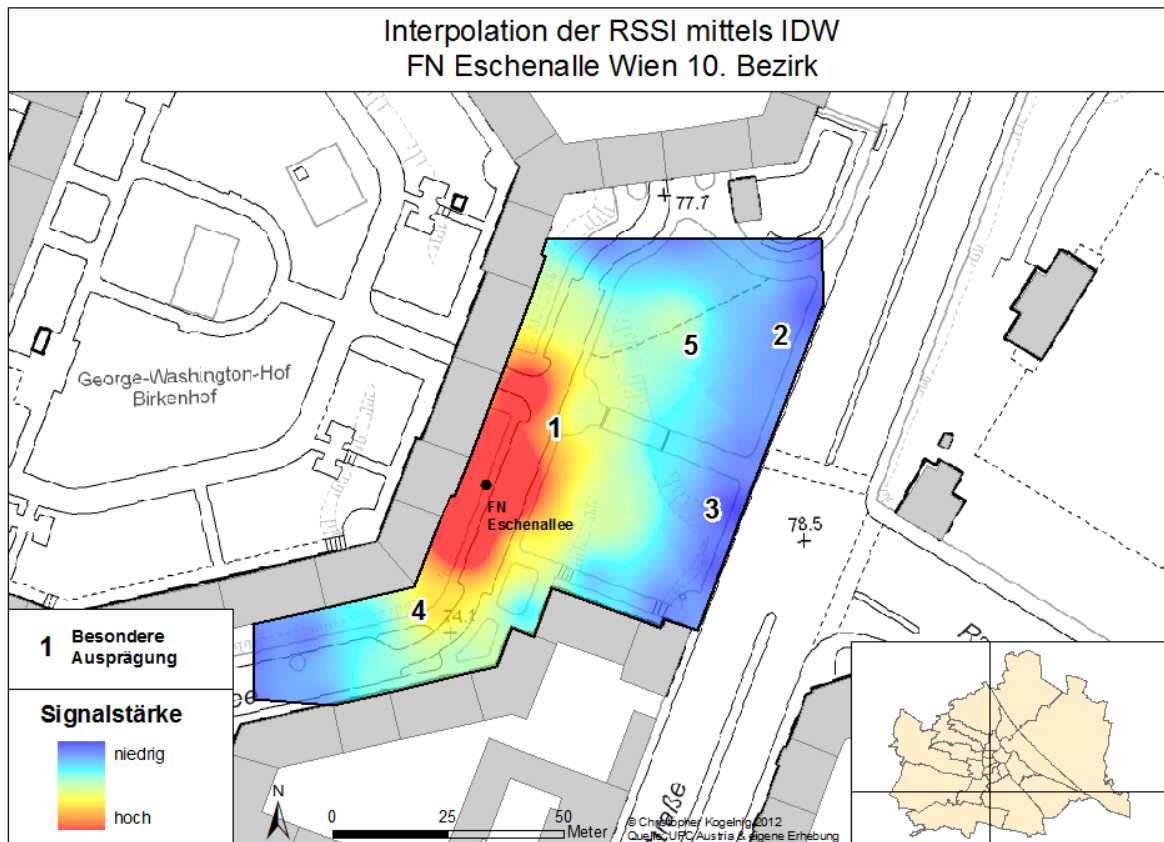


Abb. 51 Interpolation der RSSI mittels IDW FN Eschenallee

Da der Einfluss der Vegetation im Fall von Ausprägung Nr.2 und Nr.3 in jedem Erhebungspunkt vorhanden ist, ist in diesem Bereich auch mit IDW ein räumlich geschlossener, klarer Rückgang der Signalstärke zu erkennen. Die bereits bekannten Einbuchtungen durch den Einfluss von parkenden Kraftfahrzeugen sind bei der Visualisierung mittels IDW wieder bei Ausprägung Nr.1 zu erkennen.

Die eben angesprochenen oft lokal zu extrem ausgeprägten Werte werden durch Kriging (Abb.52) merklich minimiert. Der Verlust an Signalstärke durch die Vegetation wird zudem zwischen dem FN und Ausprägung Nr.3 deutlich erweitert. Das Signal innerhalb des Hofes im Gemeindebau konnte nicht erhoben werden. Die RSSI würde aber vermutlich auf Grund der nicht vorhandenen Sichtverbindung deutlich an Intensität verlieren.

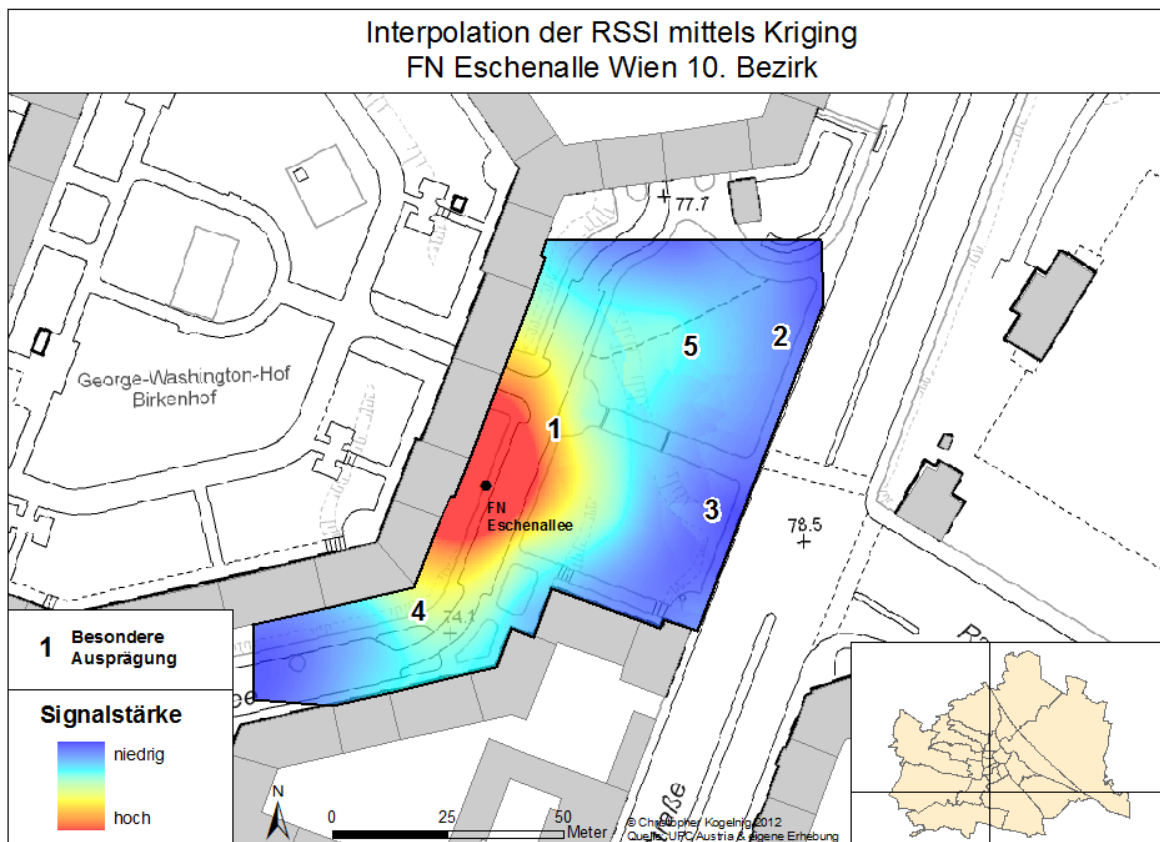


Abb. 52: Interpolation der RSSI mittels Kriging FN Eschenallee

Das Signalverhalten mittels Dämpfungsmodellierung gestaltet sich vor allem im Umkreis der ersten 40 Meter ausgehend vom FN wieder sehr gleichmäßig (Abb.53). Der Maximalwert beträgt vor allem auf Grund der geringen Reichweite des WLAN-Netzwerkes allerdings nur 81,88 dB. Der gemessene RSSI-Wert wird hier mit -94 dBm angegeben. Dies ist auch der höchste erhobene Wert im ganzen UG.

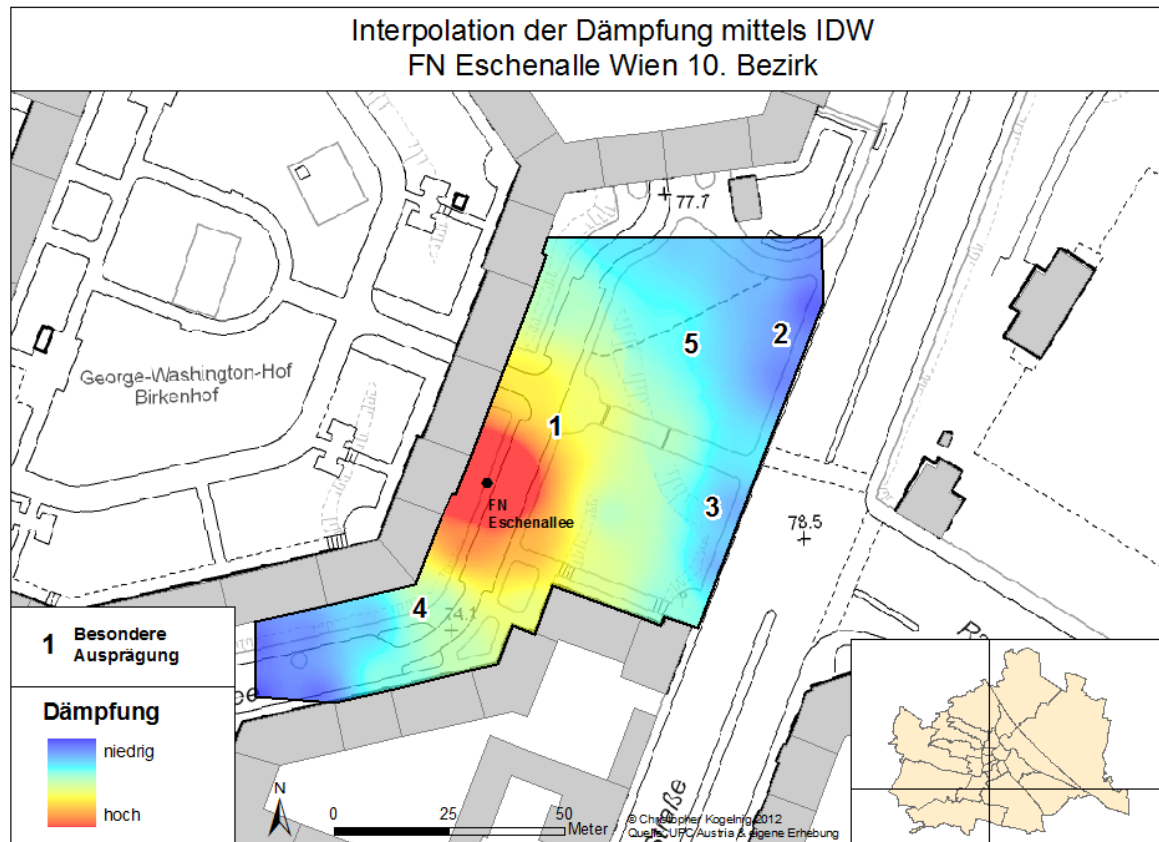


Abb. 53: Interpolation der Dämpfung mittels IDW FN Eschenallee

Die Visualisierung durch Kriging (Abb.54) lässt im Vergleich mit der RSSI-Interpolation größere Ähnlichkeiten erkennen und spiegelt durch die konstantere Darstellung der Signalausbreitung das mögliche Signalverhalten etwas ausgeglichener wider. Die Interpolationen der RSSI und Dämpfung durch Kriging nähern sich einander sehr gut an. Die Bedeutung und Relevanz der Parameter innerhalb des Dämpfungsmodells werden dadurch nachvollziehbar gestärkt.

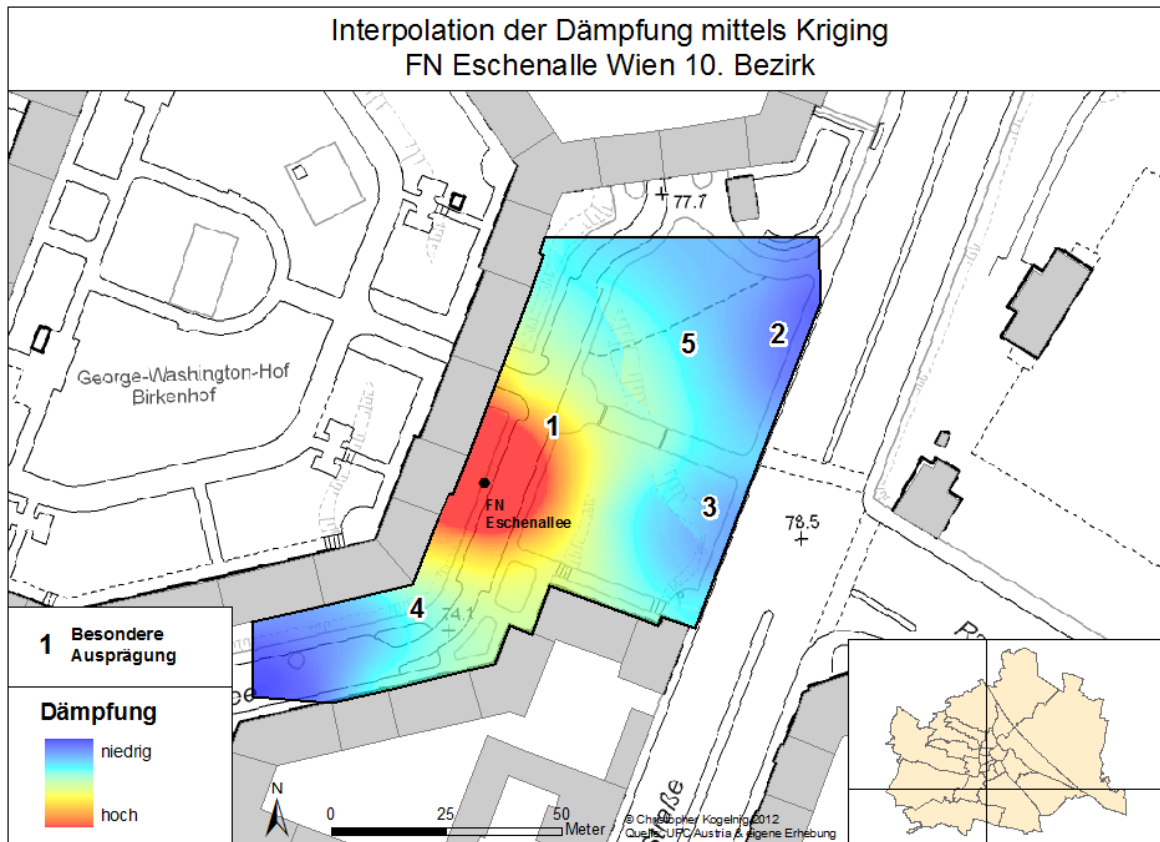


Abb. 54: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Eschenallee)

5.2.6 WLAN-Plangebiet

Das Dämpfungsmodell wurde in den aufgezeigten WLAN-Netzwerken immer im EZG der vorliegenden Empfangsreichweite angewandt. Ebenso blieb die räumliche Position der Erfassungspunkte erhalten. Diese Informationen sind bei der Planung von WLAN-Netzwerken natürlich nicht vorhanden. Um aber trotzdem einen Einblick in das Signalverhalten zu gewinnen, bietet sich folgende Möglichkeit an: Ein geplantes WLAN-Netzwerk wird mit einer bestimmten Reichweite und rein zufällig positionierten Berechnungspunkten generiert. Als einfaches, kurzes Beispiel wird dafür eine Reichweite von 100 Metern angenommen und für das Dämpfungsmodell vorbereitet. Die Parameter für das Modell werden allerdings um die Vegetation minimiert. Somit wird die Dämpfung an Hand der Entfernung und der Sichtverbindung berechnet. Das geplante WLAN-Netzwerk befindet sich am Campus der Universität Wien und deckt ein Gebiet von

geschätzten 100 Metern ab (Abb.55). Innerhalb des EZG werden 30 zufällig erstellte Punkte als räumlicher Bezug für die Berechnung der Dämpfung herangezogen.

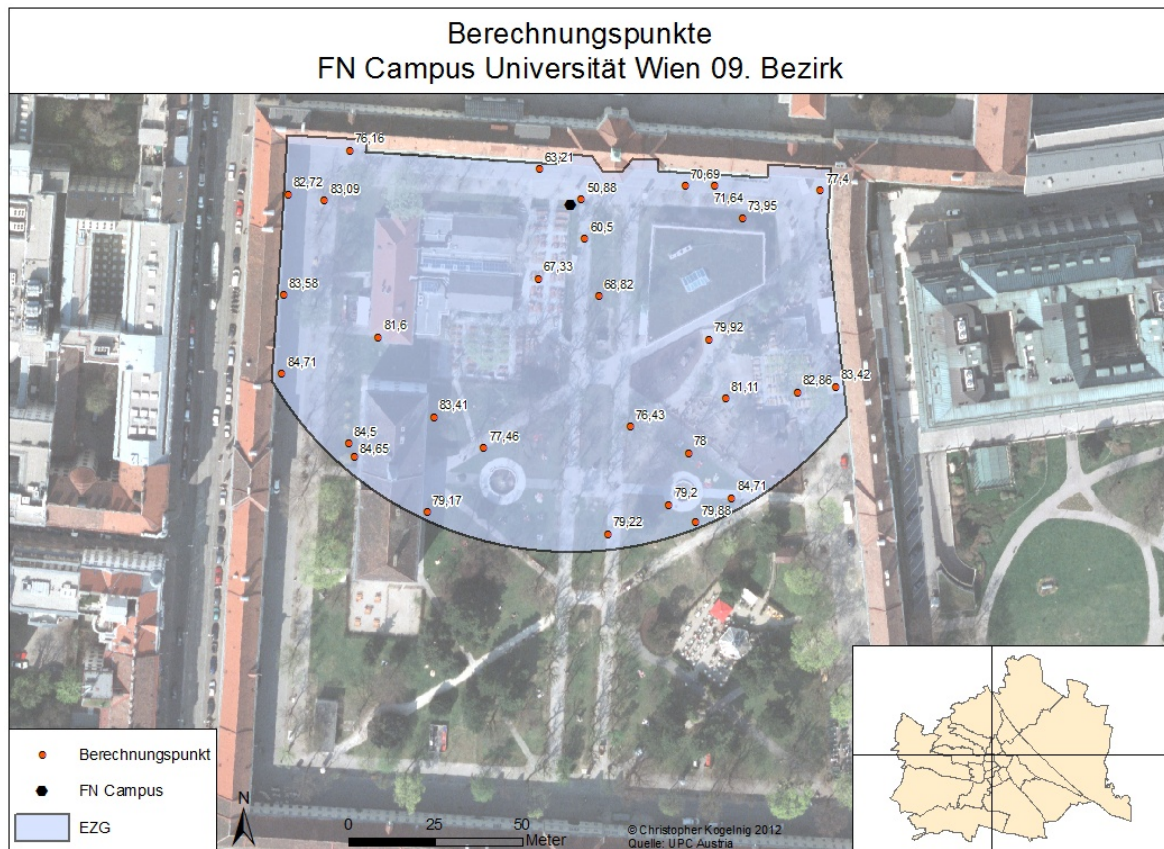


Abb. 55: Berechnungspunkte FN Campus Universität Wien

Die generierten Punkte innerhalb des EZG wurden via GIS zufällig räumlich positioniert. Die geschätzte Reichweite des WLAN-Netzwerkes wird allerdings auf den Innenhof beschränkt. Mögliche Signale außerhalb der Barriere der Gebäude wurden nicht berücksichtigt. Als Interpolationsmethode wird in diesem Beispiel auf Grund der reinen Schätzung des EZG nur Kriging verwendet.

Durch die vorliegenden Gebäude (Ausprägung Nr.1 und Nr.3) wird das Signal dementsprechend stark gedämpft. Die barrierefreie Ausbreitung Richtung Süden (Ausprägung Nr.2) deutet auf einen möglichen guten Empfang hin (Abb.56). Wie sich das Signal allerdings vor Ort tatsächlich verhält, ist schwer vorauszusagen. Durch die besondere Lage des FN innerhalb des Hofes spielen zusätzlich andere Einflussfaktoren wie Reflexionen und Absorptionen eine wichtige Rolle.

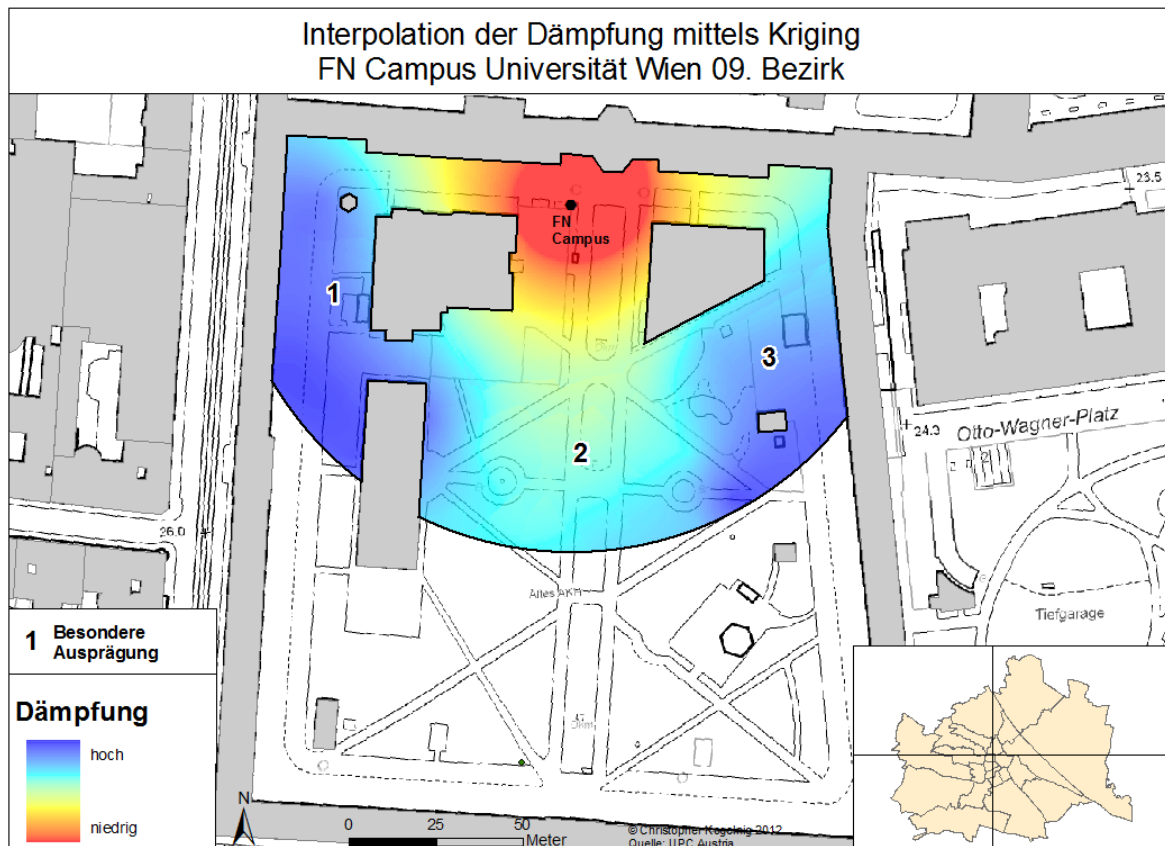


Abb. 56: Interpolation der Dämpfung mittels Kriging FN Campus Universität Wien

Die Anwendung des Dämpfungsmodelles wie in diesem Beispiel kann allerdings auch mit alternativen Parametern durchgeführt werden. So würde es sich zusätzlich anbieten, das EZG bereits innerhalb der Interpolationsmethoden anzugeben, regelmäßige Erhebungspunkte zu generieren oder aber auch weitere Einflussfaktoren zu integrieren.

6 Zusammenfassung

6.1 Ergebnisse

Für die Erfassung und Visualisierung eines WLAN-Netzwerkes mittels GIS sind viele, oftmals schwierig zu ermittelnde Faktoren und Parameter notwendig. Die Frage nach einem guten oder schlechten Empfang kann in der Regel auf Grund vieler Einflussfaktoren nicht immer exakt beantwortet werden. Dennoch wurde in dieser Diplomarbeit gezeigt, dass durch die Kombination von empirischen Daten und einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Verhalten und den Eigenschaften von em-Wellen bei ihrer Ausbreitung mittels GIS realitätsnahe Ergebnisse erzielt werden können.

Für die Darstellung eines bereits vorhandenen WLAN-Netzwerkes ist eine Erfassung der Signalstärke unerlässlich. Die angewandten Interpolationsmethoden zeigen in ihrer Visualisierung unterschiedliche Ergebnisse. Da die erhobenen Daten bereits eine gewisse Unschärfe bei ihrer Aufzeichnung aufweisen, ist es nicht erforderlich, die exakten Verhältnisse an einem Messpunkt wiederzugeben. Das Verfahren Kriging eignet sich auf Grund der vorhandenen Datendichte und der Approximation an die Datenpunkte eindeutig besser für die Visualisierung der Signalstärke als auch der Dämpfung. Die gewählten Parameter und angewandte Kriging-Methode wurden bewusst gewählt, um die visuell besten Ergebnisse zu erzielen.

Die abgebildeten Darstellungen und Berechnungen können allerdings angesichts der Komplexität der Eigenschaften von Funkwellen nicht als exakt angesehen werden. Alle aufgezeichneten Daten und daraus resultierenden Abbildungen und Tabellen stellen demnach nur eine Momentaufnahme dar.

Die Parameter des Dämpfungsmodells erweisen sich im Vergleich zu den tatsächlichen Messungen als durchaus gut gewählt. Zwar werden manche Einflussfaktoren wie Kraftfahrzeuge oder besondere örtliche Gegebenheiten nicht in die Berechnungen integriert, aber es ist möglich, ein grundsätzliches Verhalten des Signals innerhalb einer WLAN-Funkzelle vorherzusagen.

Hier zeigt sich zudem das große Analysepotential innerhalb von geographischen Informationssystemen. Ein direkter, zahlenmäßiger Vergleich der gemessenen

Signalstärke und des Dämpfungswertes wäre nicht sinnvoll und würde zu wenig brauchbaren Ergebnissen führen. Erst durch die Visualisierung dieser beiden Faktoren ist es möglich, zusätzliche Gemeinsamkeiten und Übereinstimmungen herauszufiltern.

Es gibt zwar eine Vielzahl an Software, welche auf der Basis von Plänen oder Zimmer- bzw. Gebäudegrundrissen versuchen, die Signalstärke eines WLAN-Netzwerkes darzustellen und zu kartieren, allerdings besteht in der Erfassung und Visualisierung des Signalverhaltens außerhalb von Gebäuden weiterhin Forschungsbedarf. So wurde in dieser Arbeit durch das Dämpfungsmodell in einem ersten Schritt gezeigt, dass durch die Kombination von empirischen Daten und der Integration physikalischer Parameter von Funkwellen mittels GIS gute Ergebnisse erzielt werden können (Abb.57).

Signalmodellierung mittels GIS

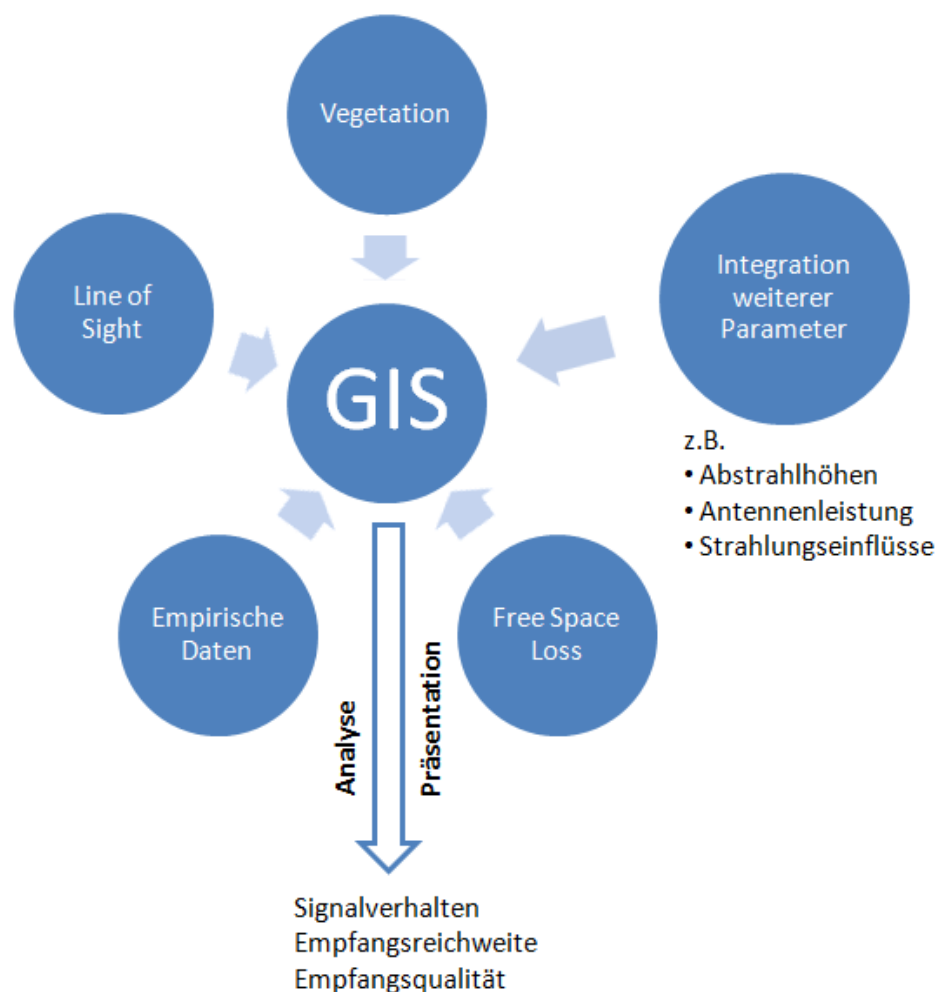


Abb. 57: Signalmodellierung mittels GIS

6.2 Ausblick und Perspektive

Die Thematik der em-Wellen ist im Bereich der Physik sehr vielschichtig. In dieser Diplomarbeit wurden mehrere Modelle angeführt, welche sich zum Ziel setzen, genauere Angaben über die Stärke des ankommenden Signals zu erhalten. Dazu gehören nicht nur grundlegende Eigenschaften wie Entfernung, Frequenz oder Sichtverbindungen, sondern auch Strahlungsleistung, Witterungsverhältnisse und vieles mehr. Das erstellte Dämpfungsmodell kann in dieser Arbeit aber trotzdem als gute Basis für fortführende Analysen angesehen werden. Mit der Erweiterung um bestimmte Faktoren und Messungen in die GIS-Analysen ist durchaus weiteres Forschungspotential gegeben. Dabei würde es sich zusätzlich anbieten, das Signal nicht nur an Hand der RSSI zu erfassen, sondern auch mittels optimierter Erfassungsgeräte (z.B. Messgerät für elektromagnetische Feldstärke) eine Erhebung durchzuführen. Die angewandten Interpolationsmethoden ermöglichen zudem eine weitere, tiefgreifendere Auseinandersetzung mit diesem Themengebiet. Vor allem Kriging als (geo)statistisches Interpolationsverfahren bietet zahlreiche Möglichkeiten und Varianten zur Analyse und Untersuchung der aufgeführten Problemstellungen.

7 Literatur und Quellen

- [ABL-92] ABLER, Ronald: *Geography's Inner Worlds: Pervasive Themes in Contemporary American Geography*. Rutgers University Press, 1992.
- [ARC-04] ARCTUR, David, ZEILER, Michael: *Designing Geodatabases. Case Studies in GIS Data Modeling*. Redlands, California, 2004.
- [BAR-05] BARTELME, Norbert: *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen*. 4. Auflage, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 2005.
- [BEL-09] BELL, Scott, JUNG, Wook: *Mapping Wlan Coverage As A Potential Complementary Source For GPS-Based Navigation In Indoor-Environments*.
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part1/09/09_04_Paper_168.pdf,
Seitenzugriff: 22.12.2011.
- [BER-07] BERNHARDT, Frank: *Untersuchung zur Implementierung eines digitalen Übertragungssystems auf OFDM-Basis im UKW-Frequenzbereich*. 1. Auflage, Norderstedt, GRIN-Verlag, 2007.
- [BILL-94] BILL, Ralf, FRITSCH, Dieter: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. 2. Auflage, Heidelberg, Herbert Wichmann-Verlag, 1994.
- [BILL-01] BILL, Ralf, ZEHNER, Marco: *Lexikon der Geoinformatik*. 1. Auflage, Rostock, Herbert Wichmann-Verlag, 2001.
- [GRE-98] GREBNER, Dietmar, ROESCH, Thomas: *Fläche-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und möglichen Niederschlagsgrenzwerten in der Schweiz*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1998.
- [GÜM-07] GÜMÜSAY, Umit, ALPER, Sen, BULUCU, Umut, KAVAS, Aktul: *Electromagnetic Coverage Calculation In GIS*.
http://www.cirgeo.unipd.it/cirgeo/convegna/mmt2007/proceedings/papers/referee/gum_usay_umit.pdf, Seitenzugriff: 21.12.2011.
- [HAF-03] HAFERKORN, Heinz: *Optik. Physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen*. 4. Auflage, Weinheim, WILEY-VHC-Verlag, 2003.
- [HAK-02] HAKE, Günther, GRÜNREICH, Dietmar, MENG, Liqui: *Kartographie: Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. 8. Auflage, Berlin - New York, Walter de Gruyter-Verlag, 2002.
- [HUB-96] HUBELD, M.: *Laborpraxis: Analytische Methoden, Band 4*. 5. Auflage, Basel, Birkhäuser-Verlag, 1996.
- [KEN-11] KENNINGTON, Jeff, OLINICK, Eli, RAJAN, Dinesh: *Wireless Network Design: Optimization Models and Solution Procedures*. New York, Springer-Verlag, 2011.
- [KUD-07] KUDRASS, Thomas: *Taschenbuch Datenbanken*. 1. Auflage, München, Carl Hanser-Verlag, 2007.
- [LAN-06] DE LANGE, Norbert: *Geoinformation in Theorie und Praxis*. 2. Auflage, Berlin - Heidelberg, Springer-Verlag, 2006.

-
- [LIN-99] LINDER, Wolfgang: *Geo-Informationssysteme: Ein Studien- und Arbeitsbuch*. Berlin - Heidelberg, Springer-Verlag, 1999
- [MET-07] METTER, Mark, BUCHER, Rainer: *Industrial Ethernet in der Automatisierungstechnik*. 2. Auflage, Erlangen, Publics Corporate Publishing-Verlag, 2007.
- [PFL-10] PFLEGER, Sven: *Aus dem Physiksaal: Grundlagen und Experimente der klassischen Schulphysik*. 1.Auflage, Norderstedt, Books on Demand GmbH, 2010.
- [SAI-10] DE SAINT-EXUPÉRY, Antoine: *Der kleine Prinz*. Grete und Josef Leitzgeb, Zürich - Hamburg, Arche-Verlag, 2010. (Die französische Ausgabe erschien u.d.T. *Le Petit Prince*. Gaillimard, Paris, 1945.)
- [SCHa-05] SCHUHKRAFT, Andrea, LENZ, Roman: *Leitfaden zur Datenqualität für Planungsbüros und Behörden*. Runder Tisch Geoinformationssysteme e.V., München, 2005.
- [SCHb-09] SCHULZ, Eric: *Anwendung von geostatistischen Methoden im ArcGIS zur Regionalisierung von Grundwasseranalysen am Beispiel eines Benzol-Grundwasserschadens*. Dresden, 2009.
- [SEE-07] SEEMANN, Janina: *Karten als Informationsvermittler für die Öffentlichkeit: Der Prozess der Kartenerzeugung mit Hilfe eines geographischen Informationssystems am Beispiel der Luftgüte in Berlin*. 1. Auflage, GRIN-Verlag, 2007.
- [SIE-10] SIEBERTZ, Karl, VAN BEBBER, David, HOCHKIRCHEN, Thomas: *Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments*. Heidelberg - Dordrecht - London - New York, Springer-Verlag, 2010.
- [STE-03] STEFFEN, Thorsten: *Konzeption, Evaluierung und exemplarische Implementierung von WLAN-Lösungen*. 1. Auflage, Norderstedt, GRIN-Verlag, 2003.
- [UNia-08] *Einführung in die Kartographie*. Skriptum zum Proseminar „Grundlagen der kartographischen Gestaltung“, IfGR, 2008.

Internetquellen

- [ESRa-12] <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/index.html>, Seitenzugriff: 04.01.2012.
- [INTa-11] <http://www.neuronaes-netz.de/NeuronaesNetz.pdf>, Seitenzugriff: 27.12.2011
- [INTb-11] <http://cst.mi.fu-berlin.de/teaching/SS06/19554-S-TI/Florian%20Deinert%20-%20Mathematische%20Modelle%20zur%20Wellenausbreitung%20fuer%20die%20Simulation%20drahtloser%20Netze.pdf>, Seitenzugriff: 28.12.2011.
- [INTc-12] <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=991>, Seitenzugriff: 24.03.2012
- [INTd-12] http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Num_Modellierung/Raum_Interpol/KrigingSemiar_1_Teil.html, Seitenzugriff: 25.03.2012

-
- [INTe-12] http://www.geogr.uni-jena.de/~c5hema/gis_ws04/ha/kissauer.pdf,Seitenzugriff: 02.04.2012
- [INTf-12] http://www.umtslink.at/content/WLAN_wlan_modi-200.html, Seitenzugriff: 28.01.2012.
- [INTg-12] <http://www.rapidtables.com/electric/>, Seitenzugriff: 15.02.2012.
- [INTTh-12] http://www.iboat.de/iboat-report/wlan/iboat-report_1.pdf, Seitenzugriff: 24.02.2012.
- [SSD-12] <http://www.metageek.net/products/inssider/>, Seitenzugriff: 24.02.2012.
- [UNIB-06] http://biologische-physik.univie.ac.at/lva/VO_folien/Phys_Bio_SS06_Elektromagn.Wellen.pdf, Seitenzugriff: 29.02.2012.
- [UNIC-10] http://www.rn.inf.tu-dresden.de/lectures/Rechnernetzpraxis/rnp_4.pdf, Seitenzugriff: 01.03.2012
- [RTR-12] <http://www.rtr.at/de/tk/Spektrum2400MHz>, Seitenzugriff: 29.01.2012.
- [WIKa-12] http://de.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11, Seitenzugriff: 28.01.2012.
- [WIKb-12] <http://en.wikipedia.org/wiki/DBm>, Seitenzugriff: 15.02.2012.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Christopher KOGELNIG
Geboren am 02.11.1983 in Villach
Staatsbürgerschaft: Österreich

Berufspraxis

Seit 01/2011

GIS Constructor im GIS-Management Team UPC Austria GesmbH in Wien (Business & EnterpriseGIS)

- Geomarketing und strategische Marktanalysen (BusinessGIS)
- ArcGIS-Server Administration
- Entwicklung von WebGIS-Anwendungen
- Datenbankadministration und Usermanagement (Oracle Spatial, SQL, Python...)
- Versioning und ArcSDE
- Spatial Analysis & Spatial Data Infrastructure
- Support ESRI ArcGIS Products (Datenbank und Client Konzept, GIS-Fachschalen,...), IT & Software
- Projektmanagement

Ausbildung

2005 bis 2012	Universität Wien, Diplomstudium Geographie im Studienzweig Kartographie und Geoinformation
2003 bis 2004	Universität für Bodenkultur Wien, Diplomstudium Lebensmittel und Biotechnologie
2002 bis 2003	Präsenzdienst in Villach, Lutschonig-Kaserne
1994 bis 2002	BG/BRG Gymnasium Villach Peraustrasse
1990 bis 1994	Volksschule Villach, St.Martin

Ich versichere:

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift